

TESIS DE GRADO MAESTRIA EN INGENIERIA

UNIVERSIDAD EAFIT

DEPARTAMENTO DE INFORMATICA Y SISTEMAS

INVESTIGACIÓN:

MEDIDAS DE CALIDAD APLICADAS A LOS LEVANTAMIENTOS
TOPOGRÁFICOS EN COLOMBIA

Carlos Augusto Sabogal Lemus
Director: Beatriz Susana Acosta Correa
Universidad EAFIT

Febrero 2016
Medellín

Contenido

| | |
|--|-----------|
| 1. Introducción..... | 1 |
| 1.1 Breve historia de la Topografía..... | 1 |
| 1.2 Objetivo General..... | 3 |
| 1.2.1 Objetivos Específicos | 3 |
| 1.3 Generalidades de la Topografía en Colombia | 3 |
| 2. Sistema de referencia por coordenadas-SRC en Colombia | 5 |
| 2.1 Similitudes y diferencias entre Sistemas de Referencia por coordenadas (SRC) utilizados en Colombia..... | 7 |
| 2.2 Tipos de Coordenadas utilizadas y su aplicación en Colombia. | 10 |
| 2.2.1 Coordenadas Geocéntricas..... | 10 |
| 2.2.2 Coordenadas Elipsoidales | 13 |
| 2.2.3 Coordenadas UTM-Sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator. | 16 |
| 2.2.4 Coordenadas Planas de Gauss Kruger | 21 |
| 2.2.5 Coordenadas Cartesianas | 32 |
| 2.2.6 Consideraciones de los tipos de alturas aplicados en los sistemas de referencia por coordenadas en Colombia..... | 34 |
| 3. Levantamientos topográficos convencionales en Colombia..... | 37 |
| 3.1 Perfil de los profesionales que ejecutan Levamientos Topográficos | 37 |
| 3.2 Requisitos para el desarrollo de un estudio topográfico..... | 38 |
| 3.3 Métodos y equipos topográficos que determinan la calidad de los datos levantados en campo. | 40 |
| 3.3.1 Equipos topográficos en Levamientos topográficos Tradicionales...40 | |
| 3.3.2 Equipos topográficos en levantamientos topográficos no convencionales | 43 |
| 3.3.3 Equipos topográficos presentes en las Nivelaciones | 44 |
| 3.3.4 Accesorios e Instrumentos Complementarios | 50 |
| 4. Metodologías de trabajo GNSS aplicadas en calidad | 2 |
| 4.1 Equipos Topográficos en estudios GPS/GNSS | 2 |
| 4.2 Posicionamientos estáticos | 5 |
| 4.3 Posicionamientos Cinemáticos | 5 |
| 4.4 Posicionamientos RTK..... | 6 |
| 4.5 Posicionamientos NTRIP | 6 |
| 5. Medidas de la calidad en los estudios topográficos | 8 |

| | |
|--|-----------|
| 5.1 Elementos y sub elementos de calidad aplicables a los levantamientos topográficos..... | 9 |
| 5.2 Métodos de evaluación de la calidad aplicables a los levantamientos topográficos..... | 13 |
| 5.2.1 Métodos directos de evaluación de la calidad. | 13 |
| 5.2.2 Métodos Indirectos de Evaluación de la calidad. | 15 |
| 5.3 Medidas de la calidad de los datos | 15 |
| 5.4 Componentes presentes en las medidas de calidad de los datos | 16 |
| 5.5 Presentación de la evaluación de calidad | 18 |
| 5.6 Reporte de la evaluación de calidad aplicada a los levantamientos topográficos..... | 22 |
| 6. Propuesta metodológica para la evaluación de calidad aplicada a los levantamientos topográficos..... | 24 |
| 6.1 Metadatos. | 26 |
| 6.2 Resultados reportados por el productor de información | 30 |
| 6.3 Análisis de requisitos o especificaciones asociados con el estudio. | 30 |
| 6.4 Identificar los recursos necesarios para llevar a cabo la evaluación de calidad. | 31 |
| 6.5 Identificar Normas o Estructuras correctas pertinentes a la evaluación de calidad. | 31 |
| 6.6 Construir un resumen de información cuantitativa pertinente de calidad. | 32 |
| 6.7 Definir los elementos y sub elementos de calidad pertinentes en la evaluación..... | 33 |
| 6.8 Realizar las Medidas básicas de calidad de los datos y el Método de evaluación..... | 34 |
| 6.9 Seleccionar el Conjunto de datos pertinentes para la evaluación de calidad. | 36 |
| 6.10 Realizar la evaluación de calidad y reportarla. | 37 |
| 7. Evaluación de calidad proyecto Pacifico-1. | 40 |
| 7.1 Generalidades..... | 40 |
| 7.2 Metadatos | 41 |
| 7.3 Resultados reportados por el contratista | 43 |
| 7.4 Especificaciones técnicas asociadas con el estudio | 46 |
| 7.4.1 Requisitos definidos por el concesionario. | 47 |
| 7.5 Recursos necesarios para la evaluación de calidad | 47 |
| 7.5.1 Recurso Tecnológico | 48 |
| 7.5.2 Recurso Humano..... | 48 |
| 7.6 Metodología de evaluación de calidad | 49 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| 7.7 | Resumen de información cuantitativa pertinente de calidad..... | 49 |
| 7.8 | Elementos y sub elementos de calidad pertinentes..... | 51 |
| 7.9 | Medidas básicas de calidad de los datos..... | 53 |
| 7.10 | Datos seleccionados en la evaluación externa de calidad..... | 61 |
| 7.10.1 | Resultados de las medidas realizadas a cada vértice. | 108 |
| 7.10.2 | Reporte de evaluación de calidad de los datos | 110 |
| 8. | Conclusiones..... | 121 |
| 9. | Recomendaciones..... | 123 |
| 10. | Referencias. | 125 |

Listado de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Diferencias entre Sistemas de Referencia..... | 8 |
| Tabla 2. Coordenadas Elipsoidales para el Punto Origen Bogotá..... | 8 |
| Tabla 3. Elementos elipsoidales 1924 Vs WGS84 Vs GRS80..... | 14 |
| Tabla 4. Diferencias entre sistemas Projectados..... | 23 |
| Tabla 5. Equivalencia entre coordenadas Elipsoidales y planas de Gauss-Kruger | 27 |
| Tabla 6. Relación entre coordenadas elipsoidales y Planas de Gauss-Kruger en el sistema de referencia MAGNA..... | 30 |
| Tabla 7. Relación entre Coordenadas planas de Gauss-Kruger en el sistema de referencia Bogotá. | 30 |
| Tabla 8. Consideraciones para levantamientos topográficos según INCODER | 39 |
| Tabla 9. Tipos de levantamientos Convencionales..... | 41 |
| Tabla 10. Equipos utilizados en estudios topográficos no convencionales..... | 43 |
| Tabla 11. Equipos utilizados en procesos de nivelación topográfica. | 44 |
| Tabla 12. Clasificación de nivelación de precisión. | 50 |
| Tabla 13. Clasificación de los equipos GPS/GNSS acorde con el uso..... | 3 |
| Tabla 14. Errores de mayor trascendencia en los posicionamientos GPS/GNSS. | 4 |
| Tabla 15. Elementos y sub elementos de calidad | 12 |
| Tabla 16. Ejemplo presentación de evaluación de calidad | 21 |
| Tabla 17. Elementos de metadatos obligatorios. | 27 |
| Tabla 18. Elementos de metadatos optativos..... | 27 |
| Tabla 19. Elementos de Metadatos Optativos | 28 |
| Tabla 20. Ejemplo de metadatos | 29 |
| Tabla 21. Ejemplo de párrafos relevantes a la especificación de un producto | 32 |
| Tabla 22. Ejemplo de selección elementos y sub elementos de calidad pertinentes. | 33 |
| Tabla 23. Medidas de básicas de calidad | 35 |
| Tabla 24. Medidas de Calidad y Componentes de calidad de datos..... | 38 |
| Tabla 25. Resumen de Proyecto..... | 42 |
| Tabla 26. Puntos de apoyo geodésico proyecto Pacífico 2..... | 43 |
| Tabla 27. Red Principal Pacífico-1. | 43 |
| Tabla 28. Información cuantitativa pertinente a la calidad..... | 50 |
| Tabla 29. Elementos y Sub elementos de calidad..... | 51 |
| Tabla 30. Medida básica de elementos de calidad referentes a la Completitud. | 54 |
| Tabla 31. Medida básica de elementos de calidad referentes a la Completitud. | 55 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 32. Medida básica de elementos de calidad referentes a la Consistencia Lógica..... | 56 |
| Tabla 33. Medida básica de elementos de calidad referentes a la Consistencia Lógica..... | 57 |
| Tabla 34. Medida básica de elementos de calidad referentes a la consistencia lógica..... | 58 |
| Tabla 35. Medida básica de elementos de calidad referentes a la Exactitud Posicional..... | 59 |
| Tabla 36. Medida básica de elementos de calidad referentes a la Exactitud Temporal | 60 |
| Tabla 37. Análisis de datos para el vértice PSPG 15..... | 108 |
| Tabla 38. Análisis de datos para el vértice PR5 | 109 |
| Tabla 39. Análisis de datos para el vértice SPG07..... | 109 |
| Tabla 40. Análisis de datos para el vértice D10-8..... | 109 |
| Tabla 41. Análisis de datos para el vértice PSPG 14..... | 110 |
| Tabla 42. Evaluación de calidad referente a la Completitud..... | 111 |
| Tabla 43. Evaluación de calidad referente a la Completitud..... | 112 |
| Tabla 44. Evaluación de calidad referente a la Consistencia lógica..... | 113 |
| Tabla 45. Error de Cierre ajuste entre vértices para triángulo SPG-08, SPG-07, SPG-06..... | 114 |
| Tabla 46. Evaluación de calidad referente a la Consistencia Lógica..... | 115 |
| Tabla 47. Evaluación de calidad referente a la Consistencia Lógica..... | 116 |
| Tabla 48. Evaluación de calidad referente a la Exactitud Posicional..... | 117 |
| Tabla 49. Error cuadrático medio de la raíz lineal RMSEP | 118 |
| Tabla 50. Evaluación de calidad referente a la Exactitud Temporal | 119 |
| Tabla 51. Resumen de la evaluación de calidad..... | 120 |

Listado de ilustraciones

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Sistemas de Referencia utilizados en Colombia..... | 7 |
| Ilustración 2. Esquema de Elipsoide..... | 9 |
| Ilustración 3. Estaciones permanentes la Red SIRGAS. | 12 |
| Ilustración 4. Esquema de Elipsoide..... | 14 |
| Ilustración 5. Coordenadas Elipsoidales..... | 15 |
| Ilustración 6. Modelo de Proyección UTM..... | 16 |
| Ilustración 7. Distribución de la proyección UTM..... | 17 |
| Ilustración 8. Distribución de Usos y Zonas-Coordenadas UTM..... | 18 |
| Ilustración 9 Mapamundi del sistema UTM..... | 20 |
| Ilustración 10 Distribución de Usos y Zonas UTM para Colombia..... | 20 |
| Ilustración 11. Proyección Transversa de Mercator..... | 22 |
| Ilustración 12. Software MAGNA SIRGAS Pro 3 Beta..... | 25 |
| Ilustración 13. Software MAGNA SIRGAS Pro 3 Beta..... | 26 |
| Ilustración 14. Distribución de orígenes cartesianos para Colombia..... | 28 |
| Ilustración 15: Proyección cartesiana..... | 32 |
| Ilustración 16. Cambios del sistema de coordenadas cartesianas Medellín Colombia..... | 33 |
| Ilustración 17. Poligonal Cerrada en un levantamiento topográfico..... | 42 |
| Ilustración 18. Ejemplo de nivelación Geométrica..... | 45 |
| Ilustración 19. Esquema de Cotas y desnivel entre puntos..... | 46 |
| Ilustración 20. Gráfico de nivelación Geométrica..... | 48 |
| Ilustración 21. Diagrama de flujo Proceso Ntrip..... | 7 |
| Ilustración 22. El procedimiento detallado de la evaluación de calidad..... | 25 |
| Ilustración 23. Resumen de información geodésica..... | 44 |
| Ilustración 24. Satélites disponibles para la obra Pacífico-1..... | 45 |
| Ilustración 25. Especificaciones técnicas de los equipos utilizados..... | 48 |
| Ilustración 26. Idoneidad del Recurso Humano..... | 49 |
| Ilustración 27. Coordenadas Geocéntricas Estaciones de referencia..... | 61 |

Resumen

Este trabajo documenta la investigación “Medidas de calidad aplicadas a los levantamientos topográficos en Colombia”; la propuesta metodológica de este documento, tiene como objetivo principal la realización de la evaluación de calidad de un conjunto de datos levantados en campo, para lo cual es necesario revisar los antecedentes de la topografía en Colombia, así como los diferentes sistemas de referencia que gobiernan la cartografía del país. Previo a realizar una evaluación de calidad, se establece el contexto en el que se podría aplicar a los levantamientos topográficos. Para ello, la estructura del documento permite que el lector aborde el estudio de los temas de forma ordenada; en primer lugar se explican los tipos de coordenadas, en los que frecuentemente se puede expresar la información de un levantamiento topográfico; seguidamente las diferentes metodologías de trabajo, instrumentos asociados, así como los recursos necesarios; finalmente, el documento se centra en su objetivo principal, la propuesta metodológica de la evaluación de calidad aplicada a levantamientos topográficos, principalmente.

Sin embargo, a la fecha de realización de este trabajo, muchos conceptos no estaban claramente definidos, como por ejemplo, una metodología de evaluación de calidad de datos geográficos, o los diferentes métodos de trabajo utilizados para la captura y registro de los datos. Fue necesario entonces realizar un estudio detallado de las normas técnicas existentes relacionadas con la captura, administración de datos geográficos, evaluación de calidad y reporte de la calidad de datos, para lo cual se utilizó como caso de estudio la información de la red geodésica del proyecto Pacífico-1, el cual integra una de las autopistas de cuarta generación que está en ejecución para Colombia.

Debido a que no existe una propuesta metodológica definida en nuestro contexto, que oriente a los diferentes productores o consumidores de información georreferenciada en cuanto al nivel de conformidad de un conjunto de datos geográficos, ni mucho menos las pautas necesarias para una evaluación de calidad, este documento se convierte en una propuesta de cómo realizar dicha evaluación, en consideración de las normas técnicas internacionales.

Palabras clave: Calidad, Topografía, Evaluación de calidad, Levantamientos topográficos, Datos geográficos, Información georreferenciada, Calidad de datos.

Abstract

This dissertation documents the investigation called “Quality measures applied to geographical data Survey in Colombia”, the purpose of the methodology proposal of this document is to carry out a quality assessment of a group of Surveyed elements in the field, reason why it is necessary to review the topography background in Colombia as well as the different reference systems ruling the cartography of the country. Prior to performing the quality assessment, the context in which the topography Surveying could be applied to, therefore the structure of the document allows the reader to address the study of the topics in an organized manner, explaining first the types of coordinates that Surveying information is frequently expressed in followed by the various work methodologies, related instruments as well as the necessary resources and finally focusing on the main objective, the methodology proposal of the quality assessment mainly applied to topographic Surveying.

However, at the time of writing this document, many concepts were not clearly defined, for instance a quality assessment methodology for geographic information, or the various work methods used for capturing and registering data. It was then necessary to carry out a detailed study of the existing technical regulations related to capturing, geographic data management, quality assessment and data quality reporting for which the information of the geodesic network for Pacifico-1, Project was used as case study because it integrates one of the 4th generation highway currently in execution for Colombia.

Since there is not a defined methodology proposal in our context that guides the producers or consumers of geo-referenced information in terms of the level of compliance of geographic data, much less the necessary guidelines for the quality assessment, this document becomes a proposal on how to carry out such assessment considering the international technical standards.

Keywords: Quality, topography, quality assessment, topographic Surveying, geographic data, and geo-referenced information, Data quality.

Agradecimientos

Gracias a mi Madre, por el amor y confianza que ha tenido para mi durante todos y cada uno de mis días.

Gracias a Susana Acosta, por su paciencia y apoyarme siempre y hacer posible este trabajo.

Gracias a todos los profesores, que desde el nivel de pregrado me aportaron en mi crecimiento personal y profesional durante las diferentes etapas de este trabajo.

Gracias a todos mis grandes amigos, a mi novia y amor de mi vida Yulieth, por acompañarme siempre y saber esperar; a Julián, por aportarme tanto a nivel profesional; a la profesora e Ingeniera topográfica, Mónica Avella, por sus enseñanzas; a mí hermano Víctor, por estar ahí siempre.

1. Introducción

1.1 Breve historia de la Topografía

En un sentido muy general, la Topografía puede considerarse como una disciplina que tiene como objetivo la medición y procesamiento de datos, como ángulos, distancias y tiempos, orientados a la cuantificación y representación de la superficie de la Tierra. De esta manera, así como los médicos concentran su conocimiento en el estudio del cuerpo humano, podría decirse que el cuerpo de estudio para los topógrafos, es la superficie de la Tierra, con todos sus accidentes naturales y artificiales.

No existe un registro histórico con relación a los orígenes de la Topografía, pero sin lugar a dudas es tan antigua como el principio de propiedad de la Tierra o el inicio de la primera civilización. Se cree que los egipcios conocían la Topografía como una ciencia pura; los griegos decidieron llamarla Geometría, pero sin duda alguna, desde que el hombre decide ser sedentario y ubicarse en un mismo lugar, cultivar la Tierra y por ende, hacerse dueño de extensiones de Tierra definiendo así el concepto de propiedad privada, se ha hecho necesario realizar mediciones.

Según Brinker y Wolf (2006), uno de los primeros instrumentos que se usó fue el cordel, un antecesor de la regla, escuadra y compás. El cordel lo usaban como compás, fijando un extremo y desplazando el otro, y como elemento para trazar líneas; anudado a distancias iguales se convertía en regla graduada, como precursor de la cinta métrica. Servía de escuadra al dividirlo en tres partes proporcionales 3, 4, 5 (denominado triángulo sagrado), conocían las propiedades de estos triángulos y trazaban así las perpendiculares, lo que conduciría a la gran parcelación rectangular de la propiedad antigua. Sin embargo, el desarrollo práctico de la Topografía se le atribuye a los romanos, pues consiguieron el cálculo exacta del área del cuadrado, rectángulo y triángulo rectángulo, produjeron muchos avances en la Topografía al establecer una serie impresionante de proyectos de ingeniería en sus imperios, proyectaban ciudades, campos militares y vías, usando un sistema de coordenadas rectangulares. Levantaron las rutas principales

utilizadas para operaciones militares en el continente europeo, islas británicas, Norte de África y aún en partes de Asia, además fueron ellos quienes promovieron las primeras asociaciones de topógrafos.

Posteriormente, de acuerdo con Torres y Villate (2007), fueron los árabes en la edad media, quienes continuaron con el desarrollo de la Topografía como ciencia; al tiempo que las civilizaciones avanzaban, iban mejorando las técnicas de medición. En siglo XIII aparecen en lo que contenía instrucciones sobre los métodos topográficos e instrumentos como el cuadrante, el báculo de cruz, el astrolabio.

En el siglo XV según Según Brinker y Wolf (2006), aparecen las primeras cartas planas, la cuales se atribuyen al infante don Enrique de Portugal, base fundamental y origen de la actual planimetría; sin embargo, es entre finales del siglo XVI y principios del siglo XVII con la aparición del telescopio, que la Topografía y la Geodesia tuvieron un gran avance, realizándose trabajos muy importantes en lo relativo a la determinación de la forma y tamaño de la Tierra. Se destacan nombres como los de Picard, Snelliaus y Casinni por el conocimiento y desarrollo de la Topografía y el establecimiento de los Fundamentos de la Geodesia y la Topografía moderna. En américa, la historia de la Topografía tiene su punto de partida con la certificación como topógrafo de George Washington, otorgada por la facultad del College, of William and Mary en Williamsburg, Virginia, en 1749; en estos tiempos la Topografía ocuparía una posición destacada al ser la base para la localización de servicios de caminos, canales, ferrocarriles, acueductos, y sobre todo, en los linderos por el gran valor que obtuvieron las tierras. En adelante, el avance de la Topografía se da al ritmo de las revoluciones y las guerras; dado que conocer los territorios propios y enemigos es de vital importancia. La triangulación geodésica se realiza de manera muy precisa y los avances topográficos comienzan a ser difundidos entre las naciones; finalmente, el perfeccionamiento de los instrumentos y los métodos empleados para hacer mediciones y producir mapas, se dan a raíz de la Primera y Segunda Guerra mundial y durante los conflictos de Corea y Vietnam. Durante la carrera espacial, la Guerra fría y la Guerra Golfo, se logran desarrollos tecnológicos con otros fines, consolidando así la base tecnológica de la Topografía actual.

1.2 Objetivo General

Estudiar los tipos de levantamientos topográficos de uso en Colombia, de manera que se establezcan las métricas de calidad aplicables en cada estudio, y así proponer una metodología general de evaluación de calidad de datos levantados en campo con métodos topográficos.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Analizar las estructuras, y relaciones que existen entre los sistemas de referencia, y tipos de coordenadas de uso en Colombia, con el fin de mejorar la calidad de los levantamientos topográficos.
- Describir los requisitos principales de los levantamientos topográficos convencionales en Colombia como primer principio de calidad, para los datos levantados en campo.
- Identificar las diferentes metodologías de trabajo GNSS como una alternativa complementaria a los levantamientos topográficos convencionales de precisión.
- Entender los diferentes sistemas de referencia de uso en Colombia, así como los tipos de coordenadas aplicables en los estudios topográficos.

1.3 Generalidades de la Topografía en Colombia

Desde 1930 se tienen referentes de los primeros topógrafos en Colombia, los cuales fueron producto de la formación por parte de ingenieros de la época, gran parte de ellos extranjeros, quienes les delegaban, el manejo de los instrumentos topográficos y las tareas de

campo, así como algunos cálculos básicos aplicados a proyectos de ingeniería. Gran parte de estas personas profundizaron por su propia cuenta en el estudio teórico y desarrollo de técnicas orientadas a los levantamientos topográficos, dando vida a los primeros topógrafos empíricos de Colombia.

“Posteriormente, en la época de los 50’s, Surgen las primeras instituciones educativas en Colombia que ofrecían cursos cortos de Topografía, gran parte de ellos orientados por correspondencia, similar a lo que conocemos en la actualidad como educación a distancia. Dichos cursos estaban destinados al fortalecimiento teórico del individuo el cual debería realizar el proceso práctico de su cuenta”. Tomado de Gonzalo Jiménez. (2007). Topografía para ingenieros. Colombia

Finalmente, debido a la demanda de profesionales del campo de la Topografía, en 1960 se crean los primeros programas a nivel universitario, siendo la Universidad de América ubicada en Bogotá y fundada en 1956, pionera en este programa académico; posteriormente el fortalecimiento de la profesión en Colombia va de la mano con la apertura del programa en las universidades del Quindío y del Tolima, seguidas posteriormente por la universidades del Valle, y universidad Distrital, entre otras.

En 1979 aparece una ley que intenta delimitar el campo de acción de los profesionales del área de la Topografía y de los levantamientos topográficos en Colombia, la Ley 70, la cual definía la Topografía como “una profesión destinada a la medición, representación, configuración de accidentes, relieve y proporciones de extensiones geográficas limitadas.” Se delimita y regulan aspectos importantes, como los requisitos para obtener la licencia como topógrafo, y el campo de acción profesional de los topógrafos; sin embargo, esta primera ley deja muchos temas importantes relacionados con el ejercicio de la profesión sin resolver, por lo cual, en 1981, como complemento a la Ley, se fija el Decreto 690, el cual se ocupa de otros temas relacionados con los levantamientos Topográficos en Colombia; a la fecha se han introducido algunos artículos de importancia y es la Sociedad Colombiana de topógrafos como entidad encargada de la vigilancia del oficio ante el Gobierno, la que se encarga entre muchas otras de sus funciones, de otorgar las licencias profesionales a los topógrafos en Colombia, vigente a la fecha.

2. Sistema de referencia por coordenadas-SRC en Colombia

De acuerdo con IGAC (2005), con la aparición de la Geodesia espacial para la determinación de coordenadas sobre la superficie terrestre, el uso de constelaciones de astros artificiales llamados satélites, que dieron paso a sistemas como GPS (Global Positioning System), llevaron al IGAC a replantear la conveniencia del sistema geodésico utilizado para ese entonces, conocido como el Datum Bogotá, adoptado por el IGAC en 1941, que se ajustaba sin dificultad a las necesidades cartográficas del momento. Sin embargo el Sistema de Referencia Datum Bogotá, no garantizaba la compatibilidad de las coordenadas obtenidas para Colombia con técnicas espaciales de posicionamiento como lo son los sistemas satelitales de navegación Global- GNSS (Global Navigation Satellite Systems), ni la integración de datos geográficos con otras naciones por tratarse de un sistema de referencia local. En consecuencia el IGAC se vio obligado a revertir esta situación, introduciendo un nuevo sistema de referencia que le permitiera al país la utilización de nuevas tecnologías de avanzada, en temas relacionados con la generación de información georreferenciada, y a su vez la integración de sus bases de datos con conjuntos transnacionales. De esta manera, en enero 28 de 2005 con la Resolución 068, se adopta como único Datum oficial de Colombia el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia: MAGNA-SIRGAS (Marco Geocéntrico Nacional de Referencia, densificación en Colombia del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas), cuyas características se detallan en el numeral 3.1 y 3.2 de este documento.

La adopción de MAGNA, como nuevo sistema de referencia oficial para Colombia supone un paso importante en el desarrollo cartográfico del país, también es una de las razones del por qué, sólo parte del territorio nacional tiene los mapas topográficos necesarios correctamente elaborados. Esto se debe a que gran parte de la información cartográfica con la que se cuenta se encuentra referida al antiguo sistema de referencia Datum Bogotá, y además muchas zonas del país no cuentan con un registro cartográfico apropiado.

Este nuevo sistema de referencia, también ha traído consigo traumatismos a los diferentes usuarios o profesionales, a las entidades privadas, gubernamentales, y en general a todos los que hacen uso de la información georreferenciada. Esto se debe en parte al poco conocimiento sobre sistemas de referencia que reciben los diferentes profesionales que tienen relación con las ciencias de la Tierra, en particular los topógrafos e Ingenieros topográficos, llamados a ser los mayores productores de información georreferenciada. Éste, entre otros, es uno de los objetivos de este trabajo.

Por tanto, en Colombia se han definido dos sistemas de referencia espacial, cada uno de ellos con unas características diferentes en cuanto a su geometría, localización, y precisión:

- Sistema de referencia Datum Bogotá.
- Sistema de referencia MAGNA – SIRGAS.

De esta manera, definir la ubicación de un punto sobre la superficie de la Tierra, remitido a cualquiera de los dos sistemas de referencia ya mencionados, es posible en función de un tipo de componentes espaciales, latitud, longitud y altura elipsoidal, Norte o Este, y altura, o XYZ acorde con el tipo de coordenadas seleccionado. La ilustración 1, muestra los diferentes tipos de coordenadas definidos para Colombia, considerando los sistemas de referencia existentes:

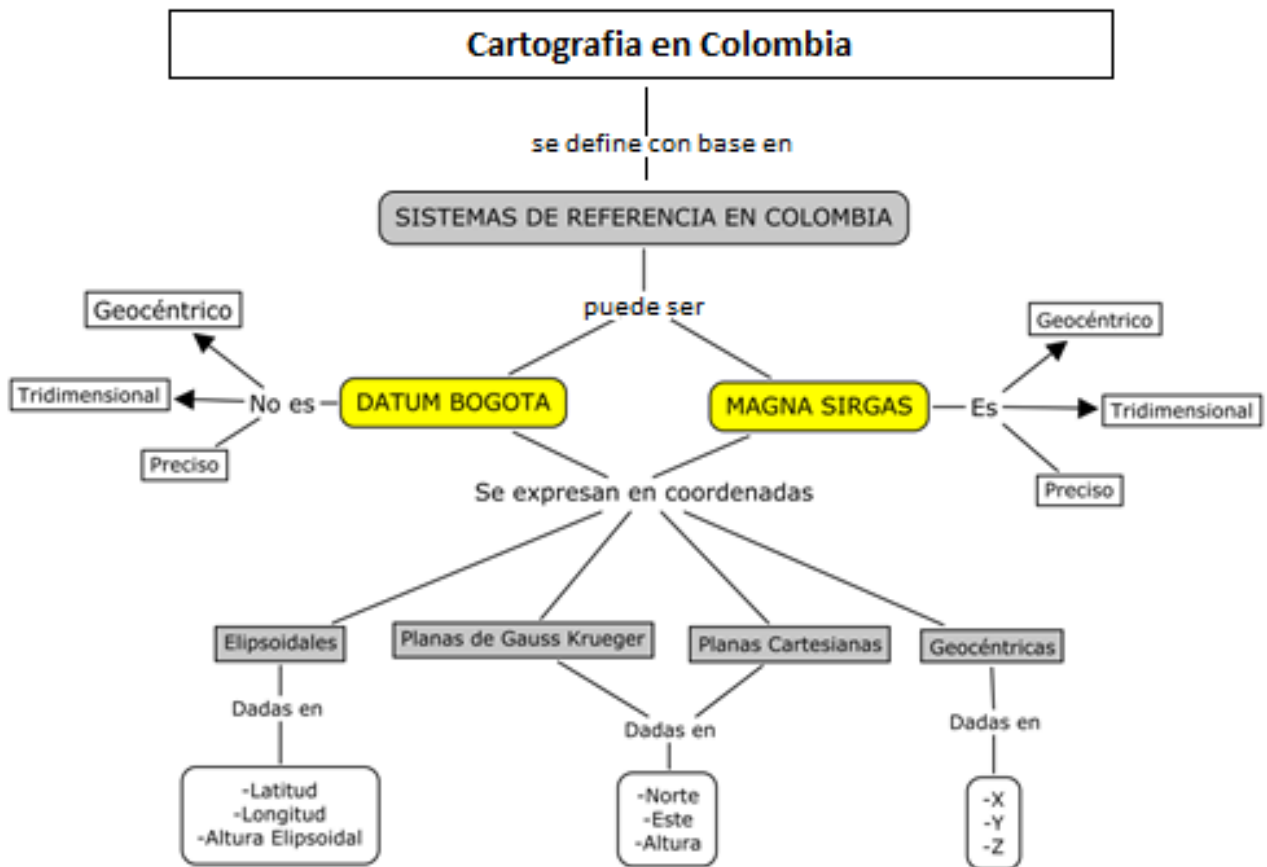


Ilustración 1. Sistemas de Referencia utilizados en Colombia

Fuente: construcción propia.

2.1 Similitudes y diferencias entre Sistemas de Referencia por coordenadas (SRC) utilizados en Colombia

Acorde con el IGAC, el Datum Bogotá, con un elipsoide internacional de 1924, ajustado a las condiciones locales adoptado en 1941, cuyo punto de referencia se ubicó en el Observatorio Astronómico de Bogotá, contaba con una red integrada por más de 11.000 puntos de primer, segundo y tercer orden respectivamente, todos obtenidos por métodos topográficos tradicionales de alta precisión, como lo son las triangulaciones, trilateraciones, y la construcción de poligonales. Es importante el conocimiento de las características principales del Datum Bogotá o Antigua Red Nacional (ARENA), ya que ésta ha sido la base

para la cartografía y estudios topográficos, a cualquier escala en el territorio nacional, debido a que en gran medida la información geográfica con la que se cuenta a nivel nacional se encuentra remitida a Datum Bogotá, por tanto, pese a sus incompatibilidades con los actuales Sistemas Satelitales de Navegación Global, en adelante GNSS, es de vital importancia conocer sus características principales, en la medida que siempre será necesario establecer comparativos entre los dos sistemas de referencia. Las diferencias principales entre los dos sistemas de referencia definidos para Colombia se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Diferencias entre Sistemas de Referencia.

| Característica | Datum Bogotá | MAGNA SIRGAS |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Elipsoide Asociado | Internacional de 1924 | WGS 84 |
| Precisión de la Red | Varía de 3 cm a 3 m. según la zona | Varía de 2 mm a 7 mm |
| Desplazamiento al Geocentro | ± 500 m | 0 m |
| Tridimensional | No | Si |
| Tipo de altura | Remitida al Nivel medio del Mar | Remitida al Elipsoide asociado |

Fuente: Construcción propia con base en el documento Adopción MAGNA SIRGAS-IGAC 2005

Es importante destacar las diferencias que habitualmente pueden encontrarse para las coordenadas de un mismo punto expresadas en sistemas diferentes. Por ejemplo, si analizamos las coordenadas del origen para el Observatorio Astronómico de Bogotá, mostradas en la Tabla 2, se tiene lo siguiente:

Tabla 2. Coordenadas Elipsoidales para el Punto Origen Bogotá

| Coordenadas MAGNA SIRGAS | Coordenadas Datum Bogotá |
|------------------------------------|----------------------------------|
| $\phi = 04^{\circ}35'46.3215''$ | $\phi = 04^{\circ}35'56,56''$ |
| $\lambda = 74^{\circ}04'39.0285''$ | $\lambda = 74^{\circ}04'51,30''$ |
| $h = 2641.469$ | $h = \text{Indeterminable}$ |

Fuente: Modificado del documento Adopción MAGNA SIRGAS-IGAC 2005.

- Las coordenadas en el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS, son más precisas que las coordenadas en el sistema de referencia Datum

Bogotá. Esto se deduce con sólo revisar las cifras significativas de cada componente Latitud (ϕ), Longitud (λ), ya que para las coordenadas MAGNA, los segundos de latitud y longitud van hasta la cuarta cifra significativa, mientras que en el caso de Datum Bogotá, los segundos de latitud y longitud van hasta la segunda cifra significativa, lo que sugiere mayor precisión en la componente geográfica.

- Aunque sus coordenadas geográficas son diferentes, al llevar el punto de estudio al mismo sistema de referencia en un sistema proyectado de coordenadas, como lo son las coordenadas planas Gauss Kruger, a través de las operaciones de conversión de coordenadas, las componentes Norte y Este son iguales en cada caso. Ver documento Manual De Usuario MAGNA SIRGAS Pro 3 Beta (IGAC, 2010). Otro elemento importante a considerar consiste en el hecho que el sistema de referencia Datum Bogotá está desplazado aproximadamente 500 metros del centro masas terrestres o geocentro. Lo anterior no significa que las coordenadas entre los dos sistemas varíen en igual magnitud, realmente las variaciones en las coordenadas proyectadas o planas en cada sistema varían entre 3, 7, o hasta 11 metros, acorde con la región en la que se encuentre ubicado el punto bajo estudio o cálculo.
- La altura, para un punto sobre el terreno en el sistema de referencia MAGNA SIRGAS, está remitida al elipsoide, mientras que en el caso de Datum Bogotá, está remitida al nivel medio del mar. Esta es una de las razones por las que se dice que el Datum Bogotá es bidimensional y MAGNA SIRGAS tridimensional. Lo anterior puede entenderse más fácilmente al ver la ilustración 2.



Ilustración 2. Esquema de Elipsoide.
Fuente INEGI, 2004.

2.2 Tipos de Coordenadas utilizadas y su aplicación en Colombia.

“Un sistema de coordenadas lo podríamos definir como un conjunto de parámetros que permiten localizar unívocamente la posición de cualquier punto de un espacio geométrico respecto de un punto llamado origen.” Tomado de Tipos de coordenadas manejados en Colombia, (IGAC, 2005)

Así como es significativo el conocimiento con respecto a los Sistemas de Referencia en Colombia - SRC, de igual manera es importante analizar los diferentes tipos de coordenadas utilizados en nuestro país, ya que en últimas es el lenguaje geográfico a ser empleado. A continuación se presentan en orden jerárquico, los tipos de coordenadas utilizadas en Colombia:

- Coordenadas Geocéntricas
- Coordenadas Elipsoidales
- UTM-Sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator
- Coordenadas Planas de Gauss Kruger.
- Coordenadas Cartesianas

Las características más importantes de cada tipo de coordenadas, así como su aplicación cartográfica, se muestran en detalle a continuación.

2.2.1 Coordenadas Geocéntricas

Según IGAC, (2004), las coordenadas geocéntricas tienen como origen el centro de la Tierra, sus componentes son de orden global, es decir, permiten la localización de cualquier punto sobre la superficie de la Tierra, sin consideraciones adicionales, en cualquier parte del mundo. Expresan la posición de un punto, en metros en función de sus componentes X, Y, Z asociadas a tres ejes perpendiculares entre sí, que cuando se intersectan definen el origen del sistema con valores $X=0$, $Y=0$, $Z=0$.

Algunas características del sistema de coordenadas geocéntricas son:

- El origen coincide con el centro de masas terrestres, considerando la atmósfera, así como los océanos.
- El eje Z coincide con el eje de rotación terrestre, de manera que un plano meridiano pasa por cualquier punto de la Tierra conteniendo el eje de rotación.
- El plano del Ecuador es perpendicular al eje de rotación.

Adicionalmente las coordenadas geocéntricas, son independientes del elipsoide, por tanto permiten la localización de cualquier punto, considerando un sistema de 3 ejes perpendiculares entre sí, cuyo origen coincide con el centro de masas terrestre. En Colombia con el incremento en el uso de los sistemas de navegación satelital, los puntos de referencia han ido cambiando con el tiempo de tal manera que ha pasado de la utilización de vértices pasivos (Mojones o hitos en concreto con placa de bronce marcada) a antenas de posicionamiento estratégicamente ubicadas o vértices activos de la red geodésica del país.

En Colombia se cuenta con vértices activos de la red geodésica, materializadas en un conjunto de CORS (Continuously Operating Reference Station), o estaciones de referencia de operación continua, instaladas por el IGAC, y que a su vez contribuyen como puntos de referencia en todo el continente, a MAGNA-SIRGAS. Uno de los aspectos que destaca la importancia y uso de este tipo de coordenadas, radica en que esta red es calculada por el observatorio Alemán y publicado semanalmente en coordenadas geocéntricas en la página del Sirgas (www.sirgas.org).

A modo de ejemplo, la ilustración 3 muestra los datos que corresponden a las primeras 100 estaciones MAGNA-ECO, o vértices activos de la red en operación calculados para la semana GPS 1821. De esta manera, si algún profesional necesita realizar un posicionamiento amarrado a la red geodésica del país utilizando tecnología GNSS, deberá utilizar datos de vértices activos o pasivos pertenecientes a la red; en este orden de ideas, en el primero de los

casos, la utilización de vértices activos de la red, sugiere conocer en detalle las coordenadas de los vértices de referencia, y éstos sólo están dados en coordenadas geocéntricas. Posteriormente, tras una conversión o transformación estas coordenadas pueden calcularse en el tipo de coordenadas de interés para el desarrollo de las actividades de campo.

Week 1821: SIRGAS solution aligned to IGB08 (wrt igs14P1821) 09-JAN-15 17:39

LOCAL GEODETIC DATUM: IGB08

EPOCH: 2014-12-03 12:00:00

| NUM | STATION NAME | X (M) | Y (M) | Z (M) | FLAG |
|-----|----------------|---------------|----------------|----------------|------|
| 1 | AACR 40612M001 | 644009.01253 | -6251064.27797 | 1093780.89400 | A |
| 3 | ABMF 97103M001 | 2919785.74439 | -5383744.99449 | 1774604.78439 | A |
| 4 | ABPD 41941M001 | 1742983.25225 | -6118331.49981 | 494730.68253 | A |
| 6 | ABPW 41940M001 | 1753507.21272 | -6113239.04649 | 518210.54892 | A |
| 9 | AGCA 41907M001 | 1782547.06629 | -6054787.94083 | 916299.50258 | A |
| 14 | ALAR 41653M001 | 5043729.69757 | -3753105.60545 | -1072966.87131 | A |
| 15 | ALBE 41943M001 | 1806735.01853 | -6056493.31499 | 855562.52496 | A |
| 17 | ALEC 42029M001 | 1233231.88110 | -6255435.58855 | -243534.51666 | A |
| 22 | ALUM 41535M001 | 2253309.66486 | -5206250.78129 | -2911357.27354 | A |
| 24 | AMCO 41696M001 | 2652254.92251 | -5775435.45267 | -538086.98069 | A |
| 30 | ANGO 41720M001 | 1501375.43118 | -4817906.44325 | -3887623.54514 | A |
| 32 | ANTC 41713S001 | 1608538.56975 | -4816370.40472 | -3847798.28961 | A |
| 34 | APSA 41675M001 | 3999377.29731 | -4968443.12910 | -6662.73056 | A |
| 35 | APTO 41933S001 | 1460797.93891 | -6147200.74113 | 868399.54777 | A |
| 37 | ARCA 41909S001 | 2086018.63527 | -5976299.56758 | 781400.58475 | A |
| 38 | AREQ 42202M005 | 1942826.24224 | -5804070.34834 | -1796894.16937 | A |
| 39 | AREV 42202M005 | 1942826.24323 | -5804070.35183 | -1796894.17049 | A |
| 47 | AUTF 41515S001 | 1360918.98218 | -3420457.97946 | -5191175.14125 | A |
| 53 | AZUL 41529M001 | 2566993.09921 | -4424962.85600 | -3796807.66798 | A |
| 54 | BABR 41684M001 | 4410351.45001 | -4409565.68773 | -1333726.52633 | A |
| 56 | BAIL 48098M001 | 4781750.31504 | -3896064.32808 | -1618362.48174 | A |
| 57 | BAIR 41665M001 | 4659351.63617 | -4174512.26761 | -1242318.80224 | A |
| 65 | BARI 40917M001 | -140886.88833 | -6138415.58898 | 1726037.51754 | A |
| 66 | BATF 41666M001 | 4677358.28879 | -3889198.86430 | -1911503.81308 | A |
| 71 | BCAR 41539M001 | 2652930.04785 | -4295643.52690 | -3884618.40633 | A |
| 74 | BEJA 41947M001 | 1758043.03202 | -6081158.66533 | 778801.08359 | A |
| 75 | BELE 41622M001 | 4228138.99441 | -4772752.11548 | -155761.17592 | A |
| 77 | BERR 41910S001 | 1703223.71846 | -6104502.30312 | 716437.03914 | A |
| 84 | BLPZ 41805M001 | 2275960.36067 | -5681183.76159 | -1804179.01288 | A |
| 87 | BNGA 41911M001 | 1837762.10905 | -6057811.15031 | 783764.88764 | A |
| 88 | BOAV 41636M001 | 3117452.18107 | -5555487.86433 | 314480.93001 | A |
| 89 | BOGA 41901M002 | 1744517.19897 | -6116051.13821 | 512581.05193 | A |
| 92 | BOGT 41901M001 | 1744398.91406 | -6116037.12159 | 512731.84415 | W |

Ilustración 3. Estaciones permanentes la Red SIRGAS.

Fuente: SIRGAS, 2015.

Por otra parte, muchos de los vértices pasivos, de los cuales sólo existía información remitida a la Antigua Red Nacional, han sido calculados y migrados a MAGNA SIRGAS; de esta manera, se tienen puntos de la red geodésica nacional en MAGNA, pero calculados años atrás, es decir, en una época de cálculo definida. Debido a que la Tierra es un sistema dinámico, el cual está en movimiento continuo, evidenciado por los estudios de

desplazamientos entre placas tectónicas, las coordenadas de un punto calculadas para la época de 1996, habrán sufrido desplazamientos con respecto a su localización inicial respecto a la época actual. Es necesario el cálculo de las coordenadas en la época actual, porque los requisitos del estudio topográfico así lo exigen; se deberá actualizar las coordenadas con un cálculo de velocidades el cual debe ser realizado y aplicado sobre coordenadas Geocéntricas; de ahí que su conocimiento resulta verdaderamente importante para el correcto uso de los SRC.

2.2.2 Coordenadas Elipsoidales

Para muchas personas, la Tierra, es similar a una esfera homogénea de radio R , pero en realidad es muy irregular, a tal punto que no existe una figura geoméricamente definida que pueda describirla. Por lo anterior se adoptó un elipsoide de revolución como una aproximación válida de nuestro planeta, que consiste en una elipse que gira sobre su semi eje menor. Existen dos elipsoides importantes en el contexto de los sistema de referencia de Colombia, el primero de ellos el Internacional de 1924, y el segundo WGS 84; esto quiere decir que la posición de un punto puede expresarse en coordenadas elipsoidales, utilizando cualquiera de los dos; sin embargo, cada elipsoide involucra un conjunto de parámetros que definen su posición con respecto a la Tierra; ese conjunto de parámetros define un Datum, y la geometría del elipsoide. Medidas como la posición con respecto al geocentro, la orientación y escala hacen parte de estos parámetros. Si el centro del elipsoide coincide con el centro del sistema de referencia, es decir, con el geocentro, y el semieje menor se hace coincidir con el eje de rotación terrestre, quedando así constituido el sistema de coordenadas geodésico, la principal diferencia entre el elipsoide internacional de 1924 y el WGS84, es que el primero no coincide con el geocentro, por tanto éste es un Datum local.

Por convención, los elementos que definen la geometría del elipsoide son el semieje ecuatorial (a), o semieje mayor, que es la Longitud del semieje correspondiente al Ecuador, desde el centro de masas de la Tierra hasta la superficie terrestre, y el achatamiento, f ($f = \frac{a-b}{a}$), el cual indica cuánto el elipsoide se aleja de la forma esférica. En la mayoría de los casos, los elementos usados en su

definición suelen ser el radio ecuatorial y el recíproco del achatamiento ($1 / f$), en lugar del propio achatamiento.

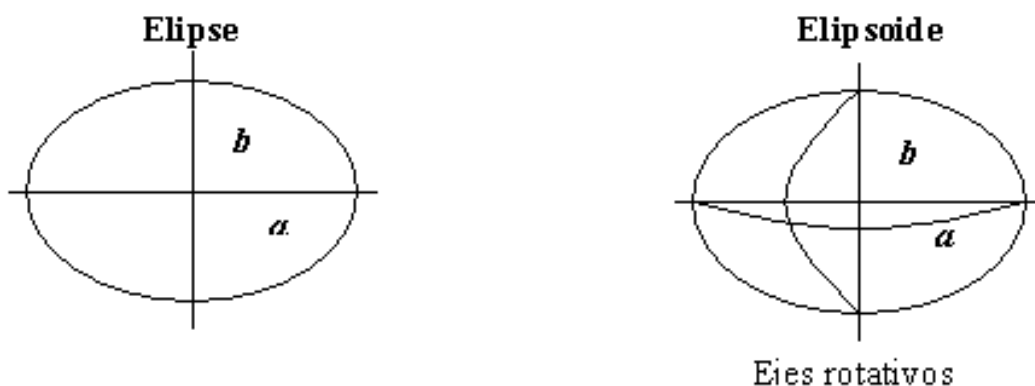


Ilustración 4. Esquema de Elipsoide.

Fuente: Galeon, 2015.

Como puede apreciarse en la Tabla 3, existen pequeñas diferencias en cuanto a los decimales del recíproco del achatamiento entre GRS80 y WGS84 como elemento de definición del elipsoide; sin embargo, en la práctica se consideran iguales, puesto que para efectos topográficos los resultados que se obtienen en cálculos y coordenadas para cada uno es lo mismo.

Tabla 3. Elementos elipsoidales 1924 Vs WGS84 Vs GRS80.

| Parámetro | Elipsoide Internacional 1924 (Hayford) | WGS 84 | GRS80 |
|----------------------------|---|-----------------|-----------------|
| Semi Eje Mayor a | 6378388 m | 6378137 m | 6378137 m |
| Recíproco del achatamiento | 1/297 | 1/298.257223563 | 1/298.257222101 |

Fuente: Construcción propia

Los elipsoides de 1924 y GRS80, son la base de nuestros sistemas de referencia; sin embargo, el elipsoide base asociado con las nuevas tecnologías de posicionamiento satelital, es el elipsoide WGS 84, el cual es el resultado de mejoras realizadas al elipsoide base GRS80 producto de los diferentes avances científicos. El elipsoide GRS80 fue adoptado por la IUGG (International Unión of Geodesy and Geophysics) en su Asamblea General de Camberra en 1979; lo anterior considerando que los elipsoides de la época no

representaban satisfactoriamente el tamaño forma y campo gravitatorio de la Tierra para la mayoría de las aplicaciones geodésicas, astronómicas, hidrográficas y de infraestructuras de alta precisión.

De esta manera, las coordenadas curvilíneas o geográficas, se expresan en términos de latitud y longitud, en el sistema sexagesimal, en grados, minutos, y segundos. La latitud representa un ángulo medido entre el plano ecuatorial y la normal que pasa por el punto de interés, puede ser medida hacia el Norte o hacia el Sur, según corresponda, y su valor varía entre 0° y 90° . De manera similar, podemos decir que la longitud es el ángulo medido sobre el plano ecuatorial, entre el meridiano de origen (Greenwich) y el meridiano del punto de interés; puede ser medida hacia el Este u Oeste y varía entre 0° y 180° . Finalmente, la componente de altura que define la tercera dimensión en este tipo de coordenadas, está dada por la altura elipsoidal “h” la cual es la distancia perpendicular medida al elipsoide que pasa por el punto de interés. Ver ilustración_5.

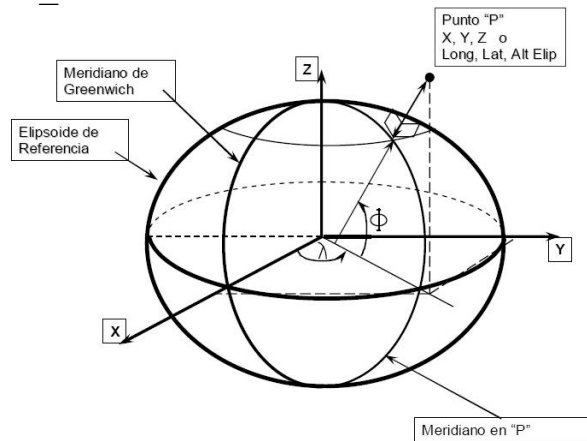


Ilustración 5. Coordenadas Elipsoidales
Fuente: Cueva del Ingeniero, 2013.

Este tipo de coordenadas, por estar remitidas directamente al elipsoide, que es la definición más cercana desde el punto de vista matemático de la verdadera forma de la Tierra, constituyen una base fundamental para los sistemas de referencia; por ende, tienen la propiedad de ser un tipo de coordenadas global, es decir, de igual interpretación para cualquier persona en el mundo lo que representa una ventaja muy importante en términos de navegación satelital y/o posicionamiento.

Se debe tener siempre en cuenta que las coordenadas elipsoidales no corresponden a ningún tipo de proyección cartográfica¹, y que además si es el caso de uso del elipsoide WGS84, se cuenta con un sistema de referencia en coordenadas geográficas que es único para todo el mundo.

2.2.3 Coordenadas UTM-Sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator.

Las coordenadas UTM se conocen para el año de 1940 acorde con Turiño, (2006). Desarrolladas por un equipo de ingenieros del Ejército de los Estados Unidos; aunque inicialmente se utilizaron otros elipsoides, el elipsoide asociado en la actualidad con este tipo de coordenadas es el WGS 84. Utiliza como sistema de proyección una variante al sistema de proyección de Mercator, propuesto por el geógrafo Gerardus Mercator.

Las coordenadas UTM se desarrollan sobre una proyección, basada en un cilindro, transversal y conforme; en otras palabras, esta proyección tiene la propiedad de conservar los ángulos y casi no distorsiona las formas de los elementos. Por otra parte, las distancias y áreas sí se ven fuertemente distorsionadas, por lo que se hace necesaria la utilización de factores de escala, para conservarlas y mitigar las variaciones y garantizar que los elementos llevados a un plano resulten conformes.

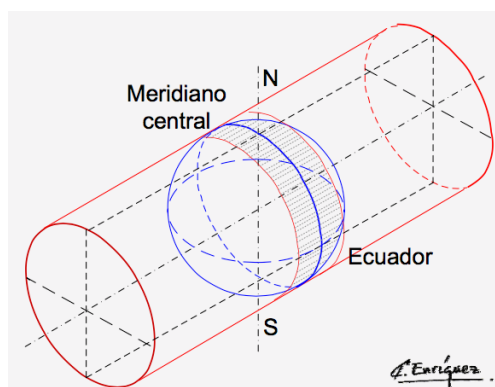


Ilustración 6. Modelo de Proyección UTM

Fuente: Turiño, C.E., 2006.

¹ Proyección cartográfica: Sistema de representación gráfico que establece una relación ordenada entre los puntos de la superficie curva de la Tierra y los de una superficie plana (mapa). Tomado de, Asin Fernando, 1990: Geodesia y cartografía matemática.



Ilustración 7. Distribución de la proyección UTM

Fuente: Turiño, C.E., 2006.

Este tipo de coordenadas globalmente utilizadas; consigue proyectar toda la superficie de la Tierra, generando 60 franjas iguales conocidas como husos, cada uno con una amplitud de 6° grados de longitud, dando cubrimiento total a la superficie de la Tierra a lo largo de un paralelo de referencia, en este caso el Ecuador. Cada uso es numerado de 1 a 60 en orden ascendente, hacia el este. De la misma manera, su distribución a lo largo de los meridianos, hacia el Norte y Sur, se realiza en 20 zonas de 8° grados de latitud, a las cuales se les asignan letras que van desde C hasta la X; se excluyen las letras I y LL para evitar confusiones y las letras A, B, Y, y Z, se reservan para zonas polares, donde la proyección UTM no funciona adecuadamente, producto de la esfericidad de la Tierra. De esta manera, la zona de proyección de la UTM se define entre los paralelos 80° S y 84° N.

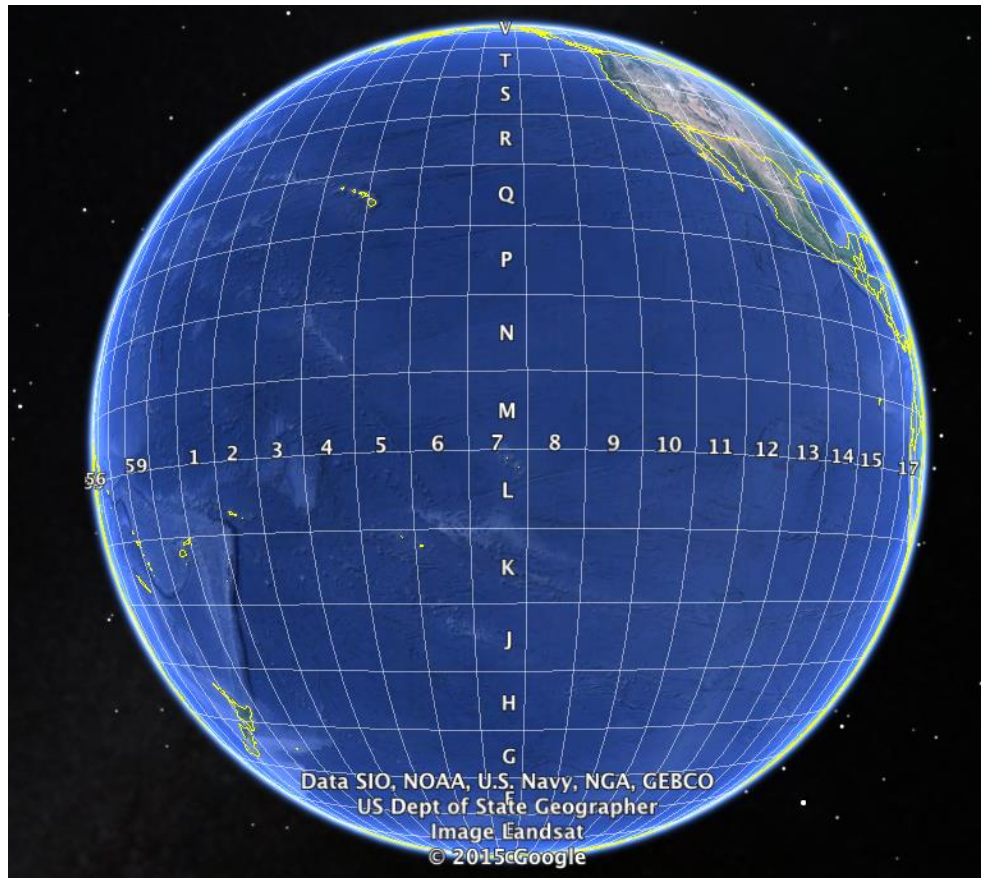


Ilustración 8. Distribución de Usos y Zonas-Coordenadas UTM
Fuente Google Earth, 2015.

Dentro de las características más importantes de este sistema de coordenadas, se encuentran:

- Por definición, la proyección UTM genera 60 husos iguales, cada huso tiene como límites dos meridianos, los cuales tienen una separación de 6 grados entre sí. Por tanto, los límites Este-Oeste de una zona UTM está comprendidos en una región localizada 3° al Oeste y 3° al Este de este meridiano central.
- Por definición, la proyección UTM genera 20 zonas, las cuales se identifican con letras. Las zonas identificadas con las letras de la C a la M pertenecen al hemisferio Sur, y las zonas identificadas con la letra N a X están en el hemisferio Norte.

- Las primeras 19 zonas (C a W) están separadas 8° grados entre sí; la última Zona (X) tiene un ancho de 12° grados.
- Los límites Norte-Sur de una zona UTM están comprendidos entre la latitud 84° N, y la latitud 80° S.
- En una zona UTM, la única línea (de grid) que señala al verdadero Norte es aquella que coincide con el meridiano central.
- A la línea central de un huso UTM, se le llama meridiano central y siempre coincide con un meridiano de su sistema geodésico.
- Puesto que un sistema de coordenadas rectangulares como el sistema UTM no es capaz de representar una superficie curva, existe cierta distorsión. Considerando las 60 zonas UTM por separado, esta distorsión es inferior al 0,04%.

El huso número 1 se encuentra entre las longitudes 180° W y 174° W, lo cual define un ancho de 6°; el meridiano central de este huso se encuentra a una longitud de 177° W, y al intersectarse con el paralelo 0, o paralelo del Ecuador definen el origen del sistema para este huso. Las coordenadas asociadas a este origen, y en general para cada huso son:

- Un valor de 500 km (500.000 m) Este, y 0 km (0 m) Norte cuando se considera el hemisferio Norte.
- Un valor de 500 km (500.000 m) Este, y 10.000 km (10.000.000 m) Norte cuando se considera el hemisferio Sur.

Se observa en la ilustración 8, que Colombia está cubierto por tres husos UTM, 17, 18 y 19 respectivamente. Así como por tres zonas UTM, P, N, Y M, siendo el huso 18, zona N, la de mayor cobertura para el territorio nacional.

La ilustración 10, muestra de manera más detallada los husos y zonas UTM aplicadas a cada parte del territorio Colombiano.

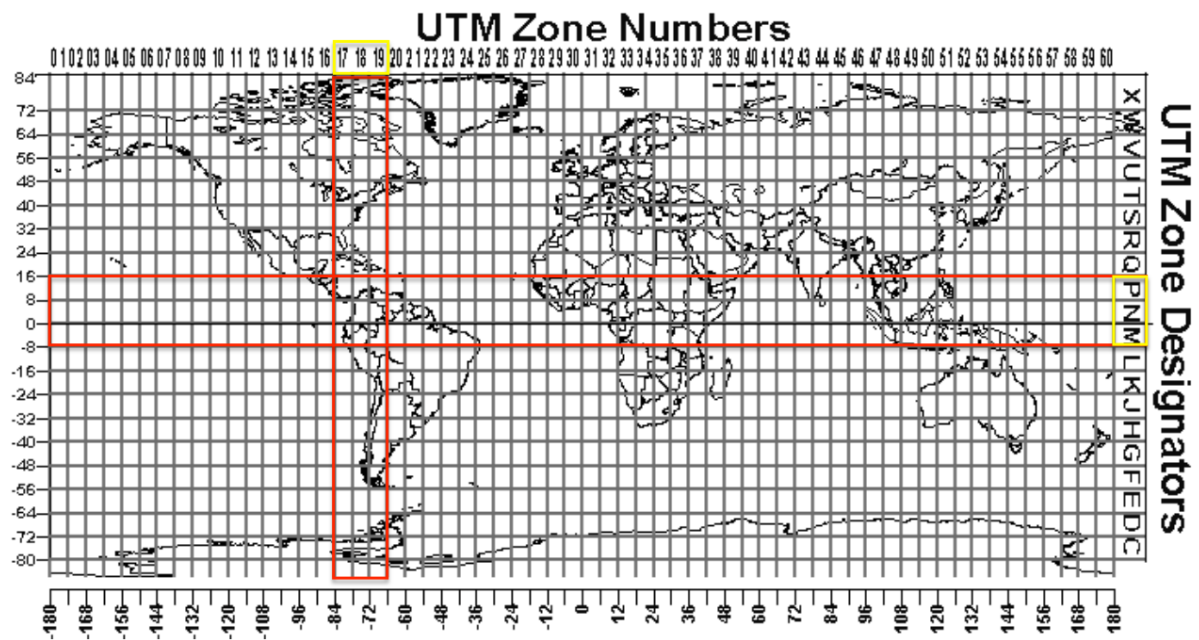


Ilustración 9 Mapamundi del sistema UTM
 Fuente: Universidad Politécnica de Valencia, 2005.



Ilustración 10 Distribución de Usos y Zonas UTM para Colombia
 Fuente: Google Earth

2.2.4 Coordenadas Planas de Gauss Kruger

Debido a que resulta inconveniente en la práctica realizar medidas lineales, tomando como referencia coordenadas expresadas en el sistema sexagesimal o tridimensional como es el caso de las coordenadas elipsoidales y geocéntricas respectivamente, es necesario contar con algún tipo de coordenadas proyectadas en un plano, que permitan sobre la superficie de la Tierra realizar la localización, comparar una ubicación, o simplemente realizar una medida entre puntos de interés.

En este orden de ideas es necesario un sistema bidimensional de coordenadas rectangulares, para la representación de la superficie de la Tierra sobre un plano, conocido como proyección cartográfica, la cual establece una correspondencia, entre los puntos sobre la superficie de la Tierra y sus equivalentes en el plano de proyección (N, E). En Colombia se utilizan dos tipos de coordenadas planas, cada una de ellas con un tipo de proyección diferente, acorde con propósito de la cartografía. Para escalas pequeñas, inferiores a 1:10.000, nos concentraremos inicialmente en el estudio de las coordenadas planas de Gauss-Kruger.

Por lo regular, el tipo de coordenadas que más se utiliza en los levantamientos topográficos son las coordenadas planas de Gauss Kruger, que expresan la posición de un punto en relación con un sistema proyectado con orígenes locales, en función de una componente Norte asociada al eje de las ordenadas; una componente Este asociada al eje de las abscisas, y una altura que integra el componente vertical; dicho origen establece una equivalencia entre las coordenadas geográficas y planas. Para tener cubrimiento total del sistema en Colombia, se han definido 5 orígenes cartesianos; teniendo como origen principal el origen Central; los orígenes complementarios se han establecido a 3° y 6° de longitud al Este y al Oeste de dicho punto.

Este tipo de coordenadas aplican para todo el territorio nacional, en relación con un origen que delimita la ubicación geográfica del punto o la zona de interés; se utilizan para la elaboración de cartografía a escalas menores, las cuales varían desde 1:10000, a

1:500000. Para la correcta utilización y consulta de mapas y planos en coordenadas planas de Gauss Kruger, es indispensable definir previamente el sistema de referencia y el origen cartesiano acorde con la región o zona del país donde se adelantaran los estudios o proyectos.

Las coordenadas planas de Gauss Kruger se obtienen cuando se intenta desarrollar la superficie curva de la Tierra en un plano, en otras palabras, proyectar la superficie de la Tierra. Ya que geográficamente la posición de un punto se expresa en términos de latitud y longitud, es decir coordenadas esféricas o elipsoidales, es necesario utilizar un sistema de proyección. Para la cartografía Colombiana se optó por utilizar un cilindro tangente y transverso a la Tierra, como puente entre los dos tipos de coordenadas (Elipsoidales a Planas de Gauss Kruger), que se conoce como proyección Transversa de Mercator.

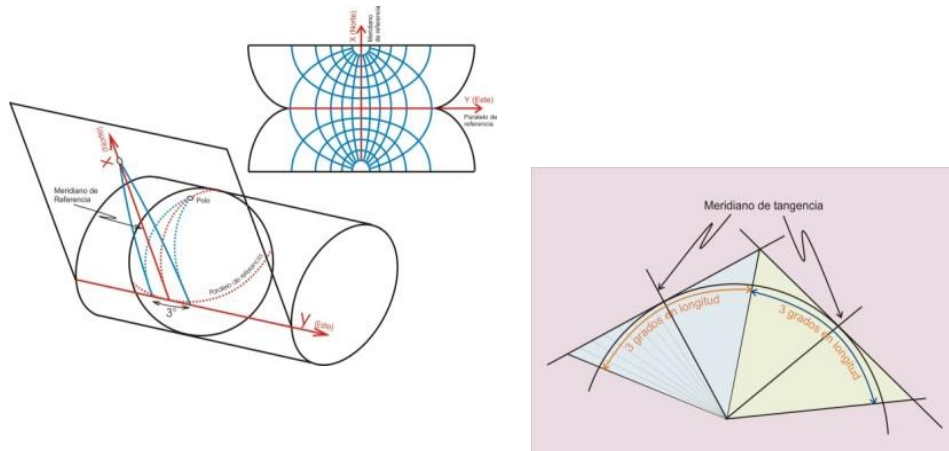


Ilustración 11. Proyección Transversa de Mercator
Fuente: IGAC, 2005.

La ilustración 11 muestra cómo la proyección Transversa de Mercator, utiliza un cilindro transversalmente ubicado, para proyectar la superficie curva de la Tierra en un plano. Sin embargo, esta proyección sólo es aprovechable en un rango de 3 grados, en el que el cilindro realmente es tangente a la superficie a desarrollar. Si lo que se quiere es la representación de todo el territorio en un plano, es necesario utilizar esta proyección cada 3 grados, desde los límites Este y Oeste de la geografía, ya que para el caso de Colombia, es imposible cubrir todo su territorio con sólo tres grados debido a que los límites de Colombia van desde 66° 50' 54" W a 79° 01' 23" W.

Este tipo de coordenadas, expresan la ubicación de un punto en función de sus componentes Norte, Este y altura. Se utiliza una proyección conforme, el propósito en este caso es obtener cartografía de áreas muy grandes, como por ejemplo, departamentos, capitales principales o un país en general como es el caso de Colombia. Las coordenadas planas de Gauss-Kruger, tienen asociada una componente geográfica, y una equivalencia en coordenadas planas; este punto se conoce como origen cartesiano, y se ocupa de la cartografía en un rango de tres grados, $1^{\circ} 30'$ al Este y $1^{\circ} 30'$ al Oeste del origen, aproximadamente unos 333 kilómetros de franja de cubrimiento en total; lo anterior para mitigar las distorsiones propias de las coordenadas proyectadas.

Cinco orígenes cartesianos fueron necesarios para dar cubrimiento a toda la geografía nacional, y corresponden a una distribución cartográfica organizada de todo el territorio nacional. Es importante tener claro que para la correcta localización de un punto sobre la superficie de la Tierra utilizando coordenadas planas de Gauss-Kruger, es indispensable indicar primero el sistema de referencia (MAGNA o Datum Bogotá), así como el origen cartesiano, puesto que la localización de un punto puede ser expresada numéricamente igual para diferentes orígenes.

Es importante destacar que el sistema de proyección UTM corresponde con el de Gauss Kruger; sin embargo difieren en cuanto a la localización geografía de sus orígenes, en las componentes falso Norte y falso Este asociadas, así como en el factor de escala y amplitud de su franja de cobertura. La Tabla número 4 explica las diferencias entre los sistemas proyectados.

Tabla 4. Diferencias entre sistemas Proyectados

| Sistema Proyectado Gauss Kruger | Sistema Proyectado UTM |
|--|--|
| ✓ Factor de Escala: 1 | ✓ Factor de Escala: 0.9996 |
| ✓ Amplitud de la franja 3° grados | ✓ Amplitud de la franja 6° grados |
| ✓ Número de orígenes cartesianos o husos:5 | ✓ Número de orígenes cartesianos o husos: 60 |

Fuente: Construcción propia

Existen distintas situaciones que se pueden presentar cuando se trabaja con los diferentes tipos de coordenadas; estas situaciones se resumen en la mayoría de los casos con los siguientes ejemplos:

- Se tiene un punto en coordenadas Planas de Gauss-Kruger en origen Central, en un sistema de referencia como MAGNA, y debió ser llevado al sistema de referencia Datum Bogotá, sin alterar el tipo de coordenadas ni su origen. En este caso se realizó un cambio de sistema de referencia, pero se conservó el formato original de coordenadas; por consiguiente se realizó una **transformación**.
- Se tiene un punto en coordenadas planas de Gauss-Kruger, en un sistema de referencia como MAGNA, y debió ser llevado al sistema de referencia Datum Bogotá pero en coordenadas elipsoidales. En este caso se realizó un cambio de sistema de referencia, y adicionalmente se cambió el tipo de coordenadas; por consiguiente se realizó una Transformación de sistemas de referencia de MAGNA a Datum Bogotá, y adicionalmente una conversión de coordenadas, de planas de Gauss-Kruger a elipsoidales.
- Se tiene un punto en coordenadas planas de Gauss-Kruger origen Central, en un sistema de referencia como Datum Bogotá, y debió ser llevado a coordenadas elipsoidales, pero en el mismo sistema de referencia Datum Bogotá. En este caso el sistema de referencia sigue siendo el mismo (Datum Bogotá), sólo se cambió el tipo de coordenada, es decir, se realizó una **Conversión** de coordenadas, de planas de Gauss-Kruger a elipsoidales.

Es importante a la hora de utilizar coordenadas planas de Gauss-Kruger, establecer el origen asociado y el sistema de referencia en el cual se expresa la ubicación. Como se verá a continuación, un punto en coordenadas geográficas o elipsoidales podrá ser llevado a diferentes orígenes en coordenadas planas de Gauss-Kruger:

Se tiene la información de un punto de interés, las componentes geográficas están dadas en coordenadas elipsoidales y deben ser transformadas a planas de Gauss-Kruger:

- $\phi = 06^{\circ} 15' 32.4512''$ N
- $\lambda = 75^{\circ} 32' 14.23145''$ W
- Altura (h): 2125,236

Para efectos del ejemplo se supone, que tanto el sistema de referencia origen y destino es MAGNA; por tanto, se va a realizar una conversión de coordenadas, utilizando el software oficial definido por el IGAC: el MAGNA SIRGAS pro 3 Beta.

The screenshot shows the 'Magna Sirgas Pro 3 Beta' application window. The main menu includes 'Conversión y Transformación', 'Ondulación Geoidal', 'Nivelación GPS', 'Cálculos Elipsoidales', and 'Cálculo Velocidades'. The 'Cálculo Punto Individual' window is active, showing settings for both 'Sistema de Referencia Partida' and 'Sistema de Referencia Destino', both set to 'MAGNA-SIRGAS' (highlighted with yellow circles). The 'Tipo de Coordenada Partida' is set to 'Elipsoidal' with fields for GG (06), MM (15), SS,DDDD (32.45120), and Hemisferio (N). The 'Coordenada Destino' is set to 'Gauss-Krueger' with fields for Norte (m): 1186057.023, Este (m): 1502939.999, and Altura (m): 2125.236. The 'Origen Gauss' is set to 'Manual' (highlighted with a red circle) and 'Oeste-oeste' is selected in the dropdown menu.

Ilustración 12. Software MAGNA SIRGAS Pro 3 Beta

Fuente: Impresión de pantalla de computadora

Al revisar en detalle la ilustración 12, se observa, primero, que efectivamente se realiza sólo una conversión de coordenadas, debido a que el sistema de referencia de partida es igual al sistema de referencia destino (Ver recuadros color amarillo en figura 11), y segundo, se obtienen las componentes geográficas Norte: 1186057.023, Este: 1502939.999, altura: 2125.236, en coordenadas planas de Gauss-Kruger origen Gauss Oeste-Oeste.

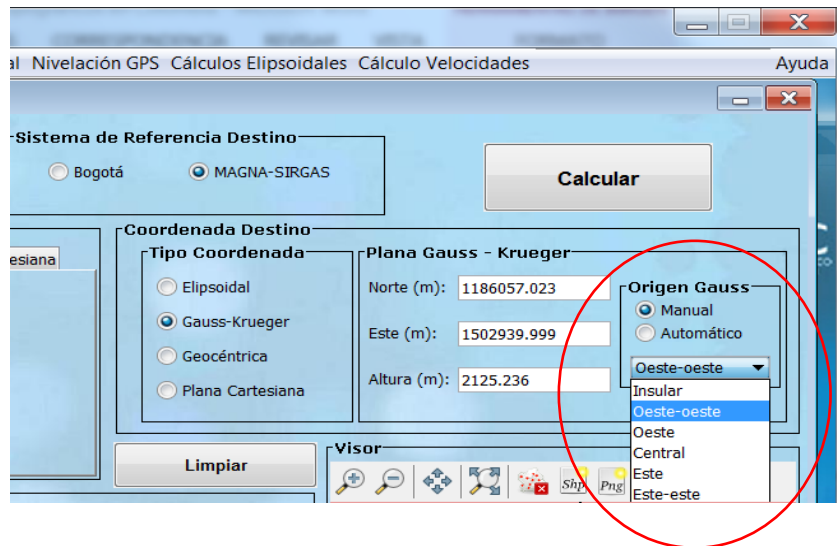


Ilustración 13. Software MAGNA SIRGAS Pro 3 Beta
Fuente: Impresión de pantalla de computadora

Sin embargo al revisar las opciones de origen Gauss mostradas en la ilustración 12, no sólo se cuenta con el origen Oeste-Oeste, sino que además se cuenta con otras cuatro alternativas, es decir un total de cinco orígenes cartesianos, como se explicó anteriormente.

En este orden de ideas, este punto dado en coordenadas elipsoidales, puede tener 5 resultados diferentes en coordenadas planas de Gauss-Krueger como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Equivalencia entre coordenadas Elipsoidales y planas de Gauss-Kruger

| Sistema de referencia origen: MAGNA SIRGAS | Sistema de referencia destino: MAGNA-SIRGAS | | | |
|--|--|--------|-------------|--------------------------------------|
| <i>Tipos de coordenadas: Elipsoidal</i> | <i>Tipo de coordenadas: Planas de Gauss-Kruger</i> | | | |
| $\phi = 06^{\circ} 15' 32.4512'' \text{ N}$ $\lambda = 75^{\circ} 32' 14.23145'' \text{ W}$ Altura (h): 2125,236 | 1 | Norte | 1186057,020 | Origen Gauss Oeste- Oeste (WW) |
| | | Este | 1502939,999 | |
| | | Altura | 2125,236 | |
| | 2 | Norte | 1184130,920 | Origen Gauss Oeste (W) |
| | | Este | 1170461,600 | |
| | | Altura | 2125,236 | |
| | 3 | Norte | 1184105,490 | Origen Gauss Central (B) |
| | | Este | 838443,225 | |
| | | Altura | 2125,236 | |
| | 4 | Norte | 1185980,410 | Origen Gauss Este Central (EC) |
| | | Este | 505988,881 | |
| | | Altura | 2125,236 | |
| | 5 | Norte | 1189781,470 | Origen Gauss Este- Este |
| | | Este | 172196,773 | |
| | | Altura | 2125,236 | |

Fuente: Construcción Propia

¿Quiere decir esto que todas las opciones son correctas?, ¿Cuál origen Gauss es el indicado para realizar esta conversión? Estas preguntas surgen muy a menudo por diferentes profesionales. En primer lugar, podríamos decir que todos los resultados son correctos; sin embargo, no todos son apropiados, considerando la distribución de los orígenes cartesianos, mostrada en la ilustración 14.

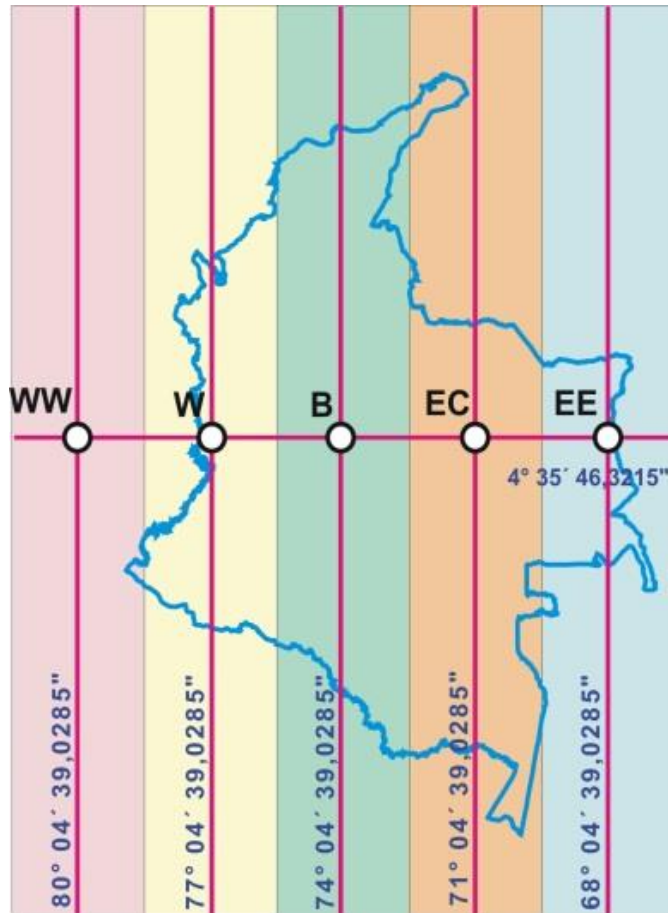


Ilustración 14. Distribución de orígenes cartesianos para Colombia
Fuente: IGAC, 2005.

En Colombia, se tienen cinco orígenes cartesianos que gobiernan la cartografía; cada uno de ellos enmarca una zona del país; de esta manera para el caso del ejemplo anterior cuando se requiera convertir una coordenada elipsoidal a plana, se debe revisar la localización de este punto dada por su longitud (λ)

$$\lambda = 75^{\circ} 32' 14.23145'' \text{ W}$$

Como se explicó anteriormente cada origen gobierna zonas de 3° en total, es decir $1^{\circ} 30'$ hacia el Este, y hacia el Oeste. En este orden de ideas el punto de interés se encuentra localizado en algún lugar entre los orígenes Central (B) y Oeste (W); para identificar el origen asociado, se suma o se resta $1^{\circ} 30'$ a cada origen.

$$\text{Origen Central (B)} = 74^{\circ} 04' 39.0285'' \text{ W} + 1^{\circ} 30' = 75^{\circ} 34' 39.0285'' \text{ W}$$

Origen Este (W)= $71^{\circ} 04' 39.0285''$ W - $1^{\circ} 30' = 75^{\circ} 34' 39.0285''$ W

Teniendo en cuenta que la longitud aumenta hacia el Oeste (W), porque Colombia está al Oeste del meridiano de Greenwich, para este caso los resultados son iguales, lo que indica que, los orígenes convergen en la longitud de lugar de coordenadas, $75^{\circ} 34' 39.0285''$ W. Esto quiere decir; que aquellos puntos con longitud superior a $75^{\circ} 34' 39.0285''$ W, serán gobernados por el origen de Gauss Oeste (W), y aquellos que estén por debajo de esta longitud estarán bajo el origen de Gauss Central (B). La longitud de interés es de $75^{\circ} 32' 14.23145''$ W $\leq 75^{\circ} 34' 39.0285''$ W, por tanto, el origen correcto para calcular las coordenadas planas de Gauss-Kruger es el origen Central (B).

Es común encontrarse con esta situación en la vida real, muchos profesionales no tienen el conocimiento suficiente relacionado con los tipos de coordenadas utilizados en Colombia razón por la cual se presentan traumatismos en las diferentes etapas de los proyectos de ingeniería. Otra situación muy común es tener un conjunto de coordenadas planas de Gauss-Kruger y desconocer el origen en el que estas se encuentran; este simple hecho podría trasladar un proyecto a kilómetros de distancia de su ubicación real, cuando se realiza una conversión de coordenadas en orígenes equivocados; quiere decir esto que desconocer el origen cartesiano de un conjunto de coordenadas Gauss-Kruger, reduce las componentes geográficas Norte, Este, a un conjunto de números sin significado geográfico.

Las coordenadas Gauss Kruger pueden expresarse en el Datum Bogotá, este sistema de referencia se utilizó durante mucho tiempo, previo a que se definiera MAGNA, como único Datum oficial de Colombia, pero también pueden expresarse en el sistema de referencia MAGNA; la distribución de orígenes para los diferentes sistemas de referencia en coordenadas Planas de Gauss-Kruger se muestra en las Tablas 6 y 7. Se considera la información de puntos remitidos al sistema de referencia espacial Datum Bogotá como información histórica; sin embargo, muchos profesionales, y más aún proyectos de infraestructura, se desarrollan tomando como referencia puntos del antiguo sistema de referencia, en ocasiones, debido a que no se cuenta con información

actualizada, en especial en zonas alejadas de los grandes centros urbanos.

Tabla 6. Relación entre coordenadas elipsoidales y Planas de Gauss-Kruger en el sistema de referencia MAGNA.

| Sistema de Referencia Origen | | | Sistema de referencia Destino | |
|------------------------------------|------------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| MAGNA | | | MAGNA | |
| Tipos de coordenadas: Elipsoidales | | | Tipos de Coordenadas: planas | |
| | | | | |
| Latitud | Longitud | Origen | Norte (m) | Este (m) |
| 4° 35' 46,3215" | 74° 04' 39,0285" | Bogotá | 1 000 000.00 | 1 000 000.00 |
| 4° 35' 46,3215" | 71° 04' 39,0285" | Este Central | 1 000 000.00 | 1 000 000.00 |
| 4° 35' 46,3215" | 68° 04' 39,0285" | Este-Este | 1 000 000.00 | 1 000 000.00 |
| 4° 35' 46,3215" | 77° 04' 39,0285" | Oeste | 1 000 000.00 | 1 000 000.00 |
| 4° 35' 46,3215" | 80° 04' 39,0285" | Oeste-Oeste | 1 000 000.00 | 1 000 000.00 |

Fuente: Construcción Propia, modificado de aspectos prácticos de la adopción del marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA-SIRGAS como Datum oficial de Colombia, 2005

Se recomienda siempre migrar la información al nuevo sistema de referencia espacial MAGNA, utilizando para ello las herramientas definidas por el IGAC para tal fin, o considerando los parámetros necesarios para llevar a cabo estas transformaciones de manera correcta, si se cuenta con el conocimiento propio de un profesional afín como lo es el caso de los Topógrafos, Ingenieros topográficos o catastrales.

Tabla 7. Relación entre Coordenadas planas de Gauss-Kruger en el sistema de referencia Bogotá.

| Sistema de Referencia Origen | | | Sistema de referencia Destino | |
|-----------------------------------|----------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| Bogotá | | | Bogotá | |
| Tipos de coordenadas Elipsoidales | | | Tipos de Coordenadas planas | |
| | | | | |
| Latitud | Longitud | Origen | Norte (m) | Este (m) |
| 4° 35' 56,57" | 74° 04' 51,30" | Bogotá | 1 000 000.00 | 1 000 000.00 |
| 4° 35' 56,57" | 71° 04' 51,30" | Este Central | 1 000 000.00 | 1 000 000.00 |
| 4° 35' 56,57" | 68° 04' 51,30" | Este-Este | 1 000 000.00 | 1 000 000.00 |
| 4° 35' 56,57" | 77° 04' 51,30" | Oeste | 1 000 000.00 | 1 000 000.00 |
| 4° 35' 56,57" | 80° 04' 51,30" | Oeste-Oeste | 1 000 000.00 | 1 000 000.00 |

Fuente: Construcción Propia, modificado de aspectos prácticos de la adopción del marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA-SIRGAS como Datum oficial de Colombia, 2005.

Al comparar las coordenadas Gauss Kruger, de los dos sistemas de referencia MAGNA y Bogotá, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Las coordenadas sistema de referencia destino planas son iguales, para cada tipo de coordenadas elipsoidales en los diferentes orígenes, de la Tabla 7. Este tipo de coordenadas son conocidas habitualmente como falso Norte y falso Este, aunque numéricamente sugieren la misma posición, su ubicación real está definida por la componente geográfica de cada origen, definiendo posiciones únicas y diferentes para cada caso.
- Las componentes geográficas que definen cada origen en el sistema de referencia MAGNA contienen 4 cifras significativas para los segundos, en relación con las dos cifras significativas, lo cual indica una mayor precisión del sistema de referencia, en comparación con el sistema de referencia Bogotá, el cual cuenta con sólo 2 cifras significativas.
- Adicionalmente, el sistema de referencia MAGNA es Geocéntrico, y el del Datum Bogotá no; es decir está desplazado 531 metros con relación al origen de coordenadas MAGNA.
- Otra diferencia importante es que las coordenadas curvilíneas, latitud, longitud y altura (ϕ , λ , h), están referidas a una misma superficie de referencia (elipsoide WGS_84) lo que lo hace tridimensional. El Datum Bogotá, por el contrario, refiere su latitud y longitud (ϕ , λ) a una misma superficie de referencia (Elipsoide de Hayford) y su altura (H) al nivel medio del mar, imposibilitando la definición consistente de un sistema de coordenadas tridimensionales.
- Se estima que la consistencia entre coordenadas de la misma red, es entre cien y mil veces mejor para MAGNA SIRGAS que para Datum Bogotá, cuya mayor limitación está dada por los instrumentos ópticos mecánicos utilizados en la determinación de los vértices de su RED.

Las coordenadas Planas de Gauss Kruger son el tipo de coordenadas de mayor utilización en el país; no son el tipo de coordenadas apropiadas para los levantamientos topográficos, en los que las escalas de trabajo son relativamente grandes, de 1:100 a 1:5.000; por ende, las coordenadas a utilizar

en los levantamientos topográficos corresponden al tipo de coordenadas denominadas cartesianas. Se recomienda al lector revisar el estudio de los planos topográficos locales o PTL. (Ver Mundo Geo, 2002)

2.2.5 Coordenadas Cartesianas

Las coordenadas planas Cartesianas son muy similares a las Planas de Gauss Kruger, en cuanto a sus componentes geográficas (Norte, Este, altura); adicional a lo anterior también cuentan con un origen asociado, definido en coordenadas elipsoidales, representado en coordenadas N, E, Altura. Sin embargo, difieren considerablemente en el objeto de aplicación y en el plano de proyección utilizado para su determinación. Mientras las coordenadas Planas de Gauss-Kruger se utilizan para escalas pequeñas, las coordenadas Planas Cartesianas se utilizan en mapas de escalas grandes, mayores a 1:5000, como lo puede ser el plano de una mediana extensión de territorio, para lo que se hace necesario proyectar la superficie de la Tierra en un plano paralelo al tangente que rozaría al elipsoide en el punto de tangencia, generalmente el punto central de la ciudad o territorio que se desea mapear o proyectar.

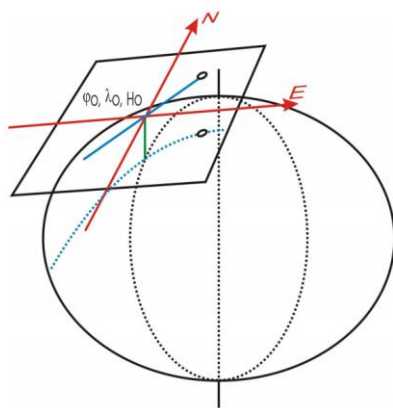


Ilustración 15: Proyección cartesiana
Fuente: IGAC, 2004.

Existen tantos orígenes cartesianos como ciudades principales se tienen en Colombia, este tipo de coordenadas se utilizan dentro un contexto local, puesto que su objetivo es la representación al detalle de los elementos de interés existentes en una ciudad, o área de estudio. Las coordenadas Planas de Gauss-Kruger y las cartesianas

se encuentran en planos de proyección diferente, por tal razón siempre resultan diferencias al realizar posibles comparaciones entre parejas de puntos.

Para definir adecuadamente un sistema de coordenadas cartesianas o PTL (Plano topográfico local), se debe definir un plano de proyección, en consideración con la elevación media de la zona de estudio. Para el caso de las ciudades de Colombia, se utiliza una proyección Transversa de Mercator en Datum MAGNA, y se define un nuevo falso Norte local, un falso Este local, así como una referencia geográfica en términos de latitud y longitud, dando lugar al origen del sistema.

Un ejemplo de un plano topográfico local, fue definido recientemente para la ciudad de Medellín. La ilustración 16 muestra cómo definieron diferentes sistemas topográficos locales para la cartografía de la ciudad, previa a adoptar un sistema de coordenadas cartesianas en MAGNA.

| ITEM | Sistema de coordenadas planas del proyecto SIGMA (conocidas internamente como SIGAME) | Sistema de coordenadas correctamente definido | Sistema de coordenadas actual del Municipio de Medellín |
|--|---|--|---|
| | Datum Bogotá, Origen Medellín Local omitiendo el plano de proyección PCS_SIGMA (SIGAME) | Datum Bogotá, Origen Medellín Local considerando el plano de proyección de 1600m.s.n.m. PCS_BOG_Ant_Medellin | Datum MAGNA, Origen Medellín Local considerando el plano de proyección de 1510m.s.n.m. PCS_MAG_Ant_Medellin |
| Proyección (<i>Projection</i>) | <i>Azimuthal_Equidistant</i> | <i>Azimuthal_Equidistant</i> | <i>Transverse_Mercator</i> |
| Falso este (<i>false_easting</i>) | 835.376,440000 | 835376,440000 | 835,378,647000 |
| Falso Norte (<i>false_northing</i>) | 1.180.809,750000 | 1180809,750000 | 1.180.816,875000 |
| Meridiano central (<i>central_meridian</i>) | -75,568264 | -75,568264 | -75,564887 |
| Latitud de origen (<i>latitude_of_origin</i>) | 6,231972 | 6,231972 | 6,229209 |
| Unidades lineares (<i>Linear Unit</i>) | Metros (1,000000) | Metros(1,000000) | Metros(1,000000) |
| Sistema de coordenadas geográficas (<i>Geographic Coordinate System</i>) | GCS_Bogota | GCS_MAG_Ant_Medellin | GCS_MAG_Ant_Medellin |
| Unidades angulares (<i>Angular Unit</i>) | Grados (<i>Degree</i>) (0,017453292519943299) | Grados (<i>Degree</i>) (0,017453292519943299) | Grados (Degree) (0,017453292519943299) |
| Meridiano principal (<i>Prime Meridian</i>) | Greenwich (0,000000000000000000) | Greenwich (0,000000000000000000) | Greenwich (0,000000000000000000) |
| Datum | D_Bogota | D_DAT_BOG_Ant_Medellin | D_DAT_MAG_Ant_Medellin |
| Esferoide (<i>Spheroid</i>) | International 1924 | International 1924 BOG Ant_Medellin | GRS1980 MAG Ant_Medellin |
| Semieje mayor (<i>Semimajor Axis</i>) | 6378388,000000000000000000 | 6379988,000000000000000000 | 6379647,000000000000000000 |
| Semieje menor (<i>Semiminor Axis</i>) | 6356911,946127946500000000 | 6358506,558922559000000000 | 6358257,251396227600000000 |
| Factor de achatamiento (<i>Inverse Flattening</i>) | 297,000000000000000000 | 297,000000000000000000 | 298,257222101000020000 |

* PCS: Sistema de coordenadas planas (*Projected coordinate system*)
** GCS: Sistema de coordenadas geográfico (*Geographic coordinate system*)

Ilustración 16. Cambios del sistema de coordenadas cartesianas Medellín Colombia.

Fuente: Alcaldía de Medellín, 2003.

2.2.6 Consideraciones de los tipos de alturas aplicados en los sistemas de referencia por coordenadas en Colombia.

El desarrollo de nuevas metodologías de trabajo impulsadas por el desarrollo de las nuevas técnicas satelitales de posicionamiento, no solamente han revolucionado las técnicas de posicionamiento en Colombia a través de la definición de un nuevo marco de referencia apoyado en MAGNA, el cual, al ser un sistema de referencia tridimensional geocéntrico, proporciona alturas referidas al elipsoide, es decir, alturas elipsoidales. En contraste, con los métodos topográficos tradicionales, como las nivelaciones geométricas, las cuales proporcionan alturas ortométricas que toman como referencia una superficie equipotencial, geoide o cuasi geoide (o referidas al nivel medio del mar), hace necesario establecer elementos o parámetros que permitan la combinación de las diferentes alturas obtenidas en la combinación de métodos de trabajo. Los posicionamientos diferenciales GPS/GNSS de alta precisión, están remitidos al elipsoide, es decir, a una superficie imaginaria, en contraste con la mayor parte de información de alturas del país remitidas al nivel medio del mar.

Para poder calcular dentro de un proyecto de infraestructura, alturas con precisiones que no superen los 10 cm con respecto a una superficie de referencia como lo es el nivel medio del mar, es necesario que se midan los desniveles a partir de un punto de la red de nivelación nacional, establecida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), por lo regular a lo largo de las principales vías del país, lo cual se hace imposible, en algunos casos, por las distancias a las que estos puntos se encuentran.

Como alternativa en la combinación de las alturas, surgen los modelos geoidales. Para Colombia, se tienen los primeros modelos en el año de 1962, realizados para ese entonces sobre el Datum Bogotá, donde se calcularon ondulaciones elipsoidales que variaban entre +25 metros y -60 metros. Desafortunadamente estos estudios se realizaron dentro del contexto científico por lo que no contó con mayor trascendencia. Sin embargo sólo cuando el país se introduce en el uso de la tecnología satelital, la determinación del modelo geoidal adquiere la importancia del caso, de esta manera desde el año 1993, el IGAC inicia el cálculo de varios modelos, cada vez con

nuevas mejoras, hasta el año 2004, cuando fue creado el modelo GEOCOL2004 (Sánchez, 2003). Lo anterior es de suma importancia si se tiene en cuenta que la superficie de referencia que más se aproxima al nivel medio del mar es conocido como Geoide, que se define como una superficie equipotencial del campo de gravedad. Este modelo fue desarrollado con base en los datos de gravimetría de la red SIGNAR (Sistema Gravimétrico Nacional de Referencia), datos de la DMA (Defense Mapping Agency), gravimetría de compañías petroleras y datos de altimetría satelital (Sánchez, 2003).

La principal ventaja de la definición de un modelo geoidal, es la definición de un sistema vertical de referencia moderno, que permita su combinación con el sistema de referencia terrestre geométrico (ITRS: International Terrestrial Reference System) sobre el cual se definen las alturas elipsoidales determinadas con GPS (Sánchez, 2003).

En función del modelo geoidal es posible establecer relaciones de altura entre estas dos superficies de referencia, geoide y elipsoide, y de esta manera obtener una altura nivelada. El tipo de altura física más cercano a la altura nivelada; es la altura ortométrica, que es la diferencia de la superficie terrestre y la superficie de referencia que coincide con el nivel medio del mar, medido a lo largo de la línea de la plomada. Esta técnica es conocida como nivelación GPS; para Colombia, la altura obtenida por este método es comparable con alturas obtenidas a partir de nivelación trigonométrica, con precisiones de 80 cm, siempre y cuando haya un ajuste con un punto de la red geodésica nacional, con una distancia menor a 20 kilómetros. (Sánchez, 2003).

Muchos cálculos de alturas, en diferentes proyectos se realizan con el método de nivelación GPS, el cual combina las técnicas de posicionamiento GPS; con la nivelación clásica, donde se determina una altura relativa a través del cálculo de las diferencias relativas entre las alturas elipsoidales y la ondulación geoidal [$\Delta H = \Delta h - \Delta N$], lo cual requiere que un punto base de levantamiento diferencial GPS, tenga cota conocida a partir de nivelación geométrica, en un rango de acción menor a 20 kilómetros. Sin embargo la precisión de este método es comparable a la obtenida por una nivelación trigonométrica (~ 80 cm). Al momento de requerir una precisión

mayor, es necesaria la implementación de la nivelación geométrica, a través de las lecturas ópticas (Sánchez, 2003).

3. Levantamientos topográficos convencionales en Colombia.

Antes de una propuesta para la evaluación de calidad de los datos producto de los levantamientos topográficos en Colombia, es necesario conocer los tipos de levantamientos que se realizan con mayor frecuencia, así como el perfil de los profesionales encargados de adelantar estos estudios, los equipos, instrumentación y metodologías empleadas. Estos temas son de gran importancia en términos de calidad y son objeto de estudio en el presente capítulo.

3.1 Perfil de los profesionales que ejecutan Levamientos Topográficos

El ejercicio de la Topografía en Colombia está regulado por la Ley 70 de 1979 en su Artículo 1, donde se establece: "La Topografía es una profesión destinada a la medición, representación, configuración de accidentes, relieve y proporciones de extensiones geográficas limitadas",

De esta manera pensar en una evaluación de calidad de los datos levantados en campo producto de trabajos topográficos, será procedente siempre y cuando el personal encargado de dicha actividad esté calificado para tal fin; en este caso, son los tecnólogos en Topografía cuya licencia profesional haya sido expedida ante el Consejo Profesional Nacional de Topografía-CPNT, cumpliendo con la normatividad por la que se rige esta entidad. Por otra parte, los Ingenieros topográficos, con su respectiva licencia actualizada con matrícula profesional vigente, expedida por el Consejo Profesional Nacional de Ingeniería-COPNIA, cumpliendo con la normatividad por la que se rige esta entidad, son los profesionales idóneos en el ejercicio de los levantamientos topográficos en Colombia, y sólo será procedente pensar en realizar una evaluación de calidad aplicada a datos, producto

de levantamientos topográficos, cuando se realizan por personal competente, acorde con lo que se menciona.

3.2 Requisitos para el desarrollo de un estudio topográfico

Existen muchas consideraciones que se podrían tener en cuenta para el desarrollo de un estudio topográfico; en la mayoría de los casos estos requisitos son definidos de forma subjetiva por parte del profesional que lo realiza. El tipo de equipo, la instrumentación, y la metodología de trabajo, en la gran mayoría de los casos no se definen en función de las necesidades del proyecto, sino por los recursos que en su momento dispone el responsable de la actividad, lo que se traduce en malos resultados, sobrecostos, producto del aumento considerable de los tiempos en el desarrollo de las actividades.

Se toman como referencia las recomendaciones para estudios topográficos presentes en la resolución 1207 de 2008 por parte del Instituto Colombiano de Desarrollo Rural - INCODER:

- Se realizarán con equipos topográficos de precisión, debidamente calibrados.
- Los equipos utilizados para mediciones angulares; serán teodolitos, estaciones o distanciómetros que garanticen los cierres establecidos.
- Para la georreferenciación con determinación de coordenadas geográficas (latitud, longitud), se emplearán receptores GPS con precisión de punto submétrica. La precisión se garantizará con el proceso de corrección diferencial.
- Se utilizará el método de poligonales cerradas, materializando puntos en el terreno.
- Para los detalles se empleará el Método de Radiación, tomando desde cada vértice de la poligonal.

- Las carteras de campo a entregar serán originales, incluyendo el dibujo a mano alzada de las poligonales ejecutadas en campo, indicando la cantidad de vértices y detalles del levantamiento; también radiaciones a partir de los vértices de las poligonales a los detalles del terreno levantado. Se aceptarán las carteras de campo o archivos raw-data originales, en formatos txt, xml, u otros formatos para procesador de texto.
- El cierre angular de la poligonal al error máximo admisible se determina por las siguientes expresiones:
 - Cierre angular máximo permitido = $a * (n/2)$ para levantamientos de poca precisión. Con “a”, como la apreciación del instrumento, es decir la unidad mínima que el instrumento permite identificar en una lectura.
 - Cierre angular máximo permitido = $a * \sqrt{n}$ para levantamientos de precisión. Con “n” como el número de armadas del instrumento durante la actividad.

Un resumen de equipos y metodologías de trabajo para los levantamientos topográficos. Se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Consideraciones para levantamientos topográficos según INCODER

| ITEM | Levantamiento para Identificación predial | Levantamiento para obras civiles |
|-------------------------------------|--|--|
| Tipo de equipo a utilizar | Estaciones totales, equipos GPS. | Estaciones totales, Niveles de precisión automáticos, equipos GPS. |
| Georreferenciación | Con equipos GPS de precisión submétrica y corrección diferencial. | Con equipos GPS de precisión submétrica y corrección diferencial. |
| Metodología del Levantamiento | Poligonales Cerradas y radiaciones desde cada vértice de la poligonal. | Poligonales Cerradas y radiaciones desde cada vértice de la poligonal. |
| formatos de Almacenamiento de datos | Formato Raw-Data/CAD | Formato Raw-Data/CAD |
| Error de cierre angular | $a * (n/2)$ | $a * \sqrt{n}$ |
| Precisión de la poligonal | 1:2.500 | 1:25.000 |
| Error vertical admisible | No aplica | $1,5*\sqrt{K}$, K es la distancia en kilómetros de la nivelación |

Fuente: Modificado de la Resolución 1207 de 2008, INCODER.

Para finalizar, es importante destacar como requisito de importancia, la Resolución 068 de 2005, por parte del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, ente rector de la cartografía en Colombia, que tiene dentro de sus tareas producir el mapa oficial y la cartografía básica de Colombia, con la cual se adoptó como único Datum oficial de Colombia el marco geocéntrico nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS. Lo anterior definió el Datum oficial para Colombia y a su vez un requisito de gran importancia, para la producción de información georreferenciada en el país.

3.3 Métodos y equipos topográficos que determinan la calidad de los datos levantados en campo.

Existen diferentes clases de equipos topográficos, todos y cada uno de ellos contruidos para una actividad específica. Dentro de cada clase existen unos accesorios suplementarios, los cuales se exponen a continuación. Una clasificación de los instrumentos de medición comúnmente utilizados acorde con el tipo de actividad topográfica desarrollada, se muestra a continuación.

3.3.1 Equipos topográficos en Levantamientos topográficos Tradicionales.

Dentro de lo que se define como levantamientos topográficos tradicionales, se incluyen todos aquellos que involucran la medición directa en campo de ángulos y distancias, utilizando equipos topográficos clásicos, los cuales toman como referencia los teodolitos óptico mecánicos. Inicialmente los levantamientos topográficos en Colombia se realizaban con Teodolitos, equipos ópticos mecánicos, cuyo principio obedecía al registro en campo de ángulos y distancias. Según (Domínguez, 1998), estos equipos ofrecían muy buenas precisiones angulares del orden del segundo o décima de segundo en su apreciación angular; sin embargo, las distancias debían ser medidas de manera directa a través de una cinta o de manera indirecta haciendo lecturas sobre una mira con graduación en metros, lo que no ofrecía muy buenas precisiones para las medidas de las distancias, y por ende, reducía la calidad de

los trabajos topográficos. En este orden de ideas, el topógrafo registraba en un cuaderno de campo todos los datos productos de sus observaciones y apoyaba el desarrollo de sus actividades topográficas en los principios fundamentales de la geometría, utilizando para ello polígonos conocidos, con los cuales obtuviera parámetros de control que permitieran establecer las propiedades de cada uno de sus levantamientos. Ya que la combinación de ángulos y distancias en su conjunto son vitales en la representación de elementos de interés en un plano, el grupo de los instrumentos que con mayor frecuencia se utilizan, aparece en la Tabla 9.

Tabla 9. Tipos de levantamientos Convencionales.

| ACTIVIDAD | EQUIPOS ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD |
|---|--|
| Levantamientos topográficos tradicionales | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Teodolito ✓ Distanciómetros ✓ Estaciones Totales |

Fuente: Construcción Propia.

Con el paso del tiempo, los avances obtenidos en campos como la informática y la electrónica, han permitido la construcción de teodolitos más modernos, que integran distanciómetros los cuales eran; aditamentos especiales que, en función de la señal que emitían, permitían el cálculo de las distancias de manera indirecta a objetivos específicos; en principio sólo distancias cortas de hasta 200 metros podían ser obtenidas; de esta manera la medición electrónica de distancias; mejoró notablemente los procedimientos topográficos en términos de tiempo y calidad. De tal manera que las herramientas tecnológicas fueron evolucionando, con desarrollos de equipos que bajo el mismo principio de los teodolitos permitían, no sólo la medición electrónica de distancias de hasta varios kilómetros, sino además, el almacenamiento de la información. La integración de programas de cálculo a estos nuevos equipos se les conoce como estaciones totales o estaciones topográficas, y en la actualidad se puede decir que es el instrumento que más se utiliza en los levantamientos topográficos, a la fecha.

Sin embargo, a pesar de los diferentes avances que se evidencian en las herramientas tecnológicas con las que se cuenta en la actualidad para los levantamientos topográficos, un estudio topográfico

tradicional considera la medición de ángulos contenidos en planos horizontales y verticales, así como la medida de distancias horizontales, verticales o inclinadas. Para la realización de un levantamiento topográfico tradicional existen dos actividades principales que deben realizarse, la Poligonización, que consiste en el levantamiento de una poligonal, entendida como una línea quebrada, constituida por vértices (estaciones) y lados que unen dichos vértices. Esta puede ser abierta o cerrada, según la metodología aplicada.

Además de construir una poligonal para apoyar las mediciones, se hace necesario realizar lecturas a los puntos de interés del levantamiento; estas lecturas son conocidas como radiaciones. La radiación es un proceso repetitivo, que permite determinar coordenadas (Norte, Este, y altura) desde un punto fijo llamado estación de radiación; en este caso un vértice de la poligonal principal o un punto auxiliar dentro de ella, a los diferentes sitios de interés, como puntos de un lindero, construcciones o elementos de importancia en el momento.

Para situar una serie de puntos A, B, C,..., se estaciona el instrumento en un punto O y desde él se observa en las direcciones OA, OB, OC, OD..., tomando nota de las lecturas angulares y de las distancias a los puntos, teniendo en cuenta la altura de armado del equipo y la orientación en relación al Norte verdadero o asumido (para la orientación suele utilizarse como línea de referencia el formado por el hilo de una plomada). Los datos previos que requiere el método son las coordenadas del punto de estación y la direcciones en relación al Norte (o las coordenadas, que permitirán deducirlo) de al menos una referencia.

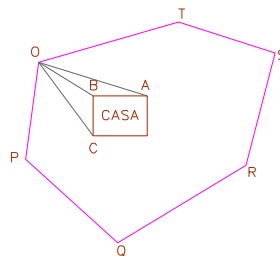


Ilustración 17. Poligonal Cerrada en un levantamiento topográfico
Fuente: Construcción Propia.

3.3.2 Equipos topográficos en levantamientos topográficos no convencionales

Reciben el nombre de levantamientos topográficos no convencionales todos aquellos que se realizan en los que, ya sea por el costo o por lo reciente de la tecnología que aplica, son muy poco utilizados por los profesionales del sector, y están restringidos a muy pocas organizaciones especializadas en el tema. A pesar de que el uso de este tipo de equipos y tecnologías ha venido en aumento en los últimos años, el título de estudios no convencionales se le da precisamente porque su uso está muy limitado aún por los costos y conocimientos que supone dicha tecnología. También suele dárseles el nombre de sensores remotos, puesto que las mediciones se realizan de forma indirecta sobre el terreno, además exigen la combinación de otros sistemas de medición directa, como equipos GPS/GNSS en la obtención de producto, dentro de los que rescatan en esta categoría por su importancia y uso, son mostrados en la Tabla_10.

Tabla 10. Equipos utilizados en estudios topográficos no convencionales.

| ACTIVIDAD | EQUIPOS ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD |
|---|--|
| Estudio de Grandes extensiones de terreno | ✓ Escáner Laser Móvil ✓ Aviones o UAV (Vehículo aéreo no tripulado) equipados con cámaras para Fotogrametría. |
| Estudio detallado de zonas de interés | ✓ Escáner Laser Fijo. ✓ Mobile Mapping |
| Estudios Marítimos | ✓ Ecosonda |

Fuente: Modificado de Comité Técnico de Normalización de Información Geográfica N28.

3.3.3 Equipos topográficos presentes en las Nivelaciones

Corresponden a todos los equipos presentes en los procesos de levantamiento topográfico altimétrico; es decir, donde el interés principal del estudio topográfico se centra en la medida de las diferencias de nivel o de altura. Un levantamiento altimétrico tiene como objetivo la medición de las diferencias de nivel o de elevación entre los diferentes puntos del terreno, las cuales representan las distancias verticales medidas a partir de una superficie de nivel o de un plano horizontal de referencia. El propósito de este tipo de levantamiento es la medición de distancias verticales y de esta manera registrar la mayor cantidad de cambios en el terreno, a lo largo de una línea recta o en un área de interés; acorde con las características del levantamiento, la nivelación puede ser de aproximación o de precisión. En el primero de los casos, se utilizan niveles de mano (Abney o look), puesto que lo que se busca es un estimativo de alturas o pendientes, según sea el caso, para estudios de pre factibilidad, regularmente, donde las tolerancias que se manejan son superiores al orden submétrico. La Tabla 11 resume alguna de las actividades principales en un levantamiento altimétrico.

Tabla 11. Equipos utilizados en procesos de nivelación topográfica.

| ACTIVIDAD | EQUIPOS ASOCIADOS CON LA ACTIVIDAD |
|----------------------------|---|
| Nivelación De Aproximación | ✓ Nivel Abney ✓ Nivel Look |
| Nivelación de precisión | ✓ Nivel Óptico Mecánico ✓ Nivel Electrónico ✓ Nivel Laser |

Fuente: Construcción Propia.

Por otra parte, cuando lo que se busca es tener precisiones en alturas o distancias verticales del orden centimétrico o milimétrico, se habla de una nivelación de precisión, tipo acorde con la calidad que se exige en el producto a entregar; es posible utilizar niveles automáticos o electrónicos, para las nivelaciones de precisión.

Sin importar el tipo de medición, el propósito se orienta a la medición de distancias en un plano vertical. En Colombia, la nivelación que más se realiza es la nivelación geométrica, debido a que es la que más precisión ofrece, y en consecuencia, el equipo utilizado en este tipo de levantamientos, los niveles automáticos, resulta ser uno de los más económicos por su gran demanda.

El principio de la nivelación geométrica es bastante simple, se utiliza la proyección de una visual horizontal o línea horizontal imaginaria en todo momento lo cual se consigue con la utilización del nivel de precisión; de esta manera, utilizando una regla graduada en milímetros se realizan lecturas a puntos de interés, las cuales son comparadas posteriormente para establecer las diferencias entre distancias verticales. La figura 18 ilustra el método.

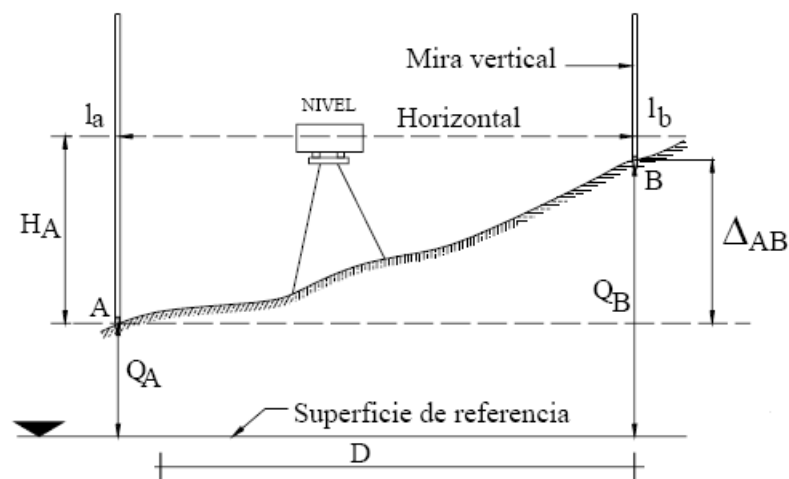


Ilustración 18. Ejemplo de nivelación Geométrica.

Fuente: Axisima, 2014.

Por lo general, las alturas tienen como superficie de referencia el nivel medio de mar, que es un punto de ceros; de esta manera, en Colombia normalmente las alturas de los proyectos toman esta referencia. Según (IGAC, 2004), el nivel medio del mar para el caso Colombiano, fue calculado a partir de los registros de cuatro mareógrafos, para las líneas de nivelación medidas entre 1950 y 1957, instalados por el US Coast and Geodetic Service (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos), dos en el Mar Caribe, Riohacha, y dos en el Océano Pacífico. Con el tiempo se pudo establecer que el nivel registrado en el Océano Pacífico estaba 28 centímetros por encima que en el Mar

Caribe, por lo que se adopta como nivel medio del mar las alturas producto de las mediciones registradas en el mareógrafo de Buenaventura. Es importante recordar, que a pesar de los esfuerzos realizados para la época, la superficie vertical de referencia contiene errores de hasta 1 metro, en parte generados por la poca información de la Topografía marina.

La ilustración 19, es otro ejemplo del principio de una nivelación. Puede apreciarse a la izquierda de la figura un trazado vertical del terreno (Perfil), entre dos puntos A y B; de esta manera, cuando se realiza una nivelación, se pretende medir la distancia vertical entre los puntos A y B. Así mismo, a la derecha de la Ilustración 19, se muestra el nivel del mar como superficie de referencia o nivel cero en cota; como se aprecia, el punto muestra una cota o altura de 1.12 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m).

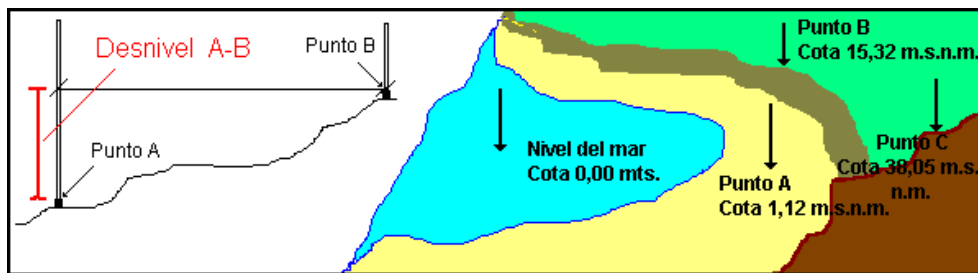


Ilustración 19. Esquema de Cotas y desnivel entre puntos.

Fuente: Caldera, F., 2014.

Una nivelación geométrica puede realizarse con un nivel de precisión óptico mecánico o con un nivel electrónico; en el caso de los niveles mecánicos, existen los de tipo automático, los cuales cuentan con un compensador que nivela la visual de manera automática, siendo estos los más modernos y utilizados actualmente; en otros modelos más antiguos de esta clase, la nivelación de la visual debe hacerse manualmente. La diferencia principal entre estos dos instrumentos radica en que en el caso del nivel óptico mecánico, las lecturas las realiza el operador del instrumento, y la precisión de las lecturas depende de la apreciación de quien las realiza. Por otra parte, con un nivel de precisión electrónico, las lecturas son realizadas utilizando una regla o mira con código de barras, de manera automática por el instrumento; en este caso la precisión de

las lecturas no depende, de la habilidad del observador, con lo que se reducen los errores de tipo personal por apreciación de las lecturas.

Salvo la explicación anterior, el procedimiento de nivelación geométrica es el mismo en todos los casos; siempre se tiene un punto de partida, es decir, un punto de inicio del cual se conoce o se asume su altura sobre una superficie de referencia; de esta manera, cuando se realiza la primera lectura, se instala una regla metálica con graduación en metros y apreciación al milímetro sobre el punto de inicio; esta primera lectura se conoce como “vista atrás”; acto seguido, se realiza una “vista frente” o “vista menos”, como lectura al punto siguiente, del cual se desea conocer su elevación o la diferencia de nivel con relación al primer punto. El procedimiento anterior puede repetirse en diferentes oportunidades, según el número de puntos de interés o la longitud del tramo a nivelar, tomando esta vez como punto de inicio el punto adelante, cuantas veces sea necesario.

La ilustración 20, expone el procedimiento de nivelación geométrica a lo largo de un alineamiento; se muestra como punto de partida el BM-A, sobre el cual se realiza una lectura o V+ (Vista atrás) de 1.254; este punto es el inicio de la nivelación. Generalmente en Colombia los puntos de inicio para una nivelación suelen estar remitidos a una superficie de referencia, en cuyo caso podríamos decir que se conoce su cota, que es la distancia vertical con relación a esa superficie de referencia; cuando esta superficie de referencia coincide con el nivel medio del mar la distancia vertical medida a esta superficie de referencia recibe el nombre de altitud o altura. Después de realizada la primera lectura, se hace una “vista menos” sobre el punto al cual se desea conocer su elevación, cota o desnivel. En la ilustración 20, la segunda lectura se realiza sobre el punto 1 y la observación realizada es de 3.248; de esta manera se tienen los siguientes resultados:

- La diferencia de lecturas permite conocer el desnivel o distancia vertical entre el BM-A y el punto 1.
- La cota o elevación para el punto 1 resulta de sumar la vista atrás (1.254) a la cota del BM-A (187.523), y restar a este resultado (188.777) la Vista- (3.248); de esta manera, la cota para el punto

1 sería de 185.529.

- En la ilustración 20, se observa el proceso de nivelación geométrica, el cual se repite hasta llegar al punto de interés B.
- Para concluir el proceso de nivelación, es necesario realizar un total de 4 estaciones; es decir, la nivelación está compuesta por varios procesos de armado; este procedimiento se conoce como nivelación geométrica compuesta.

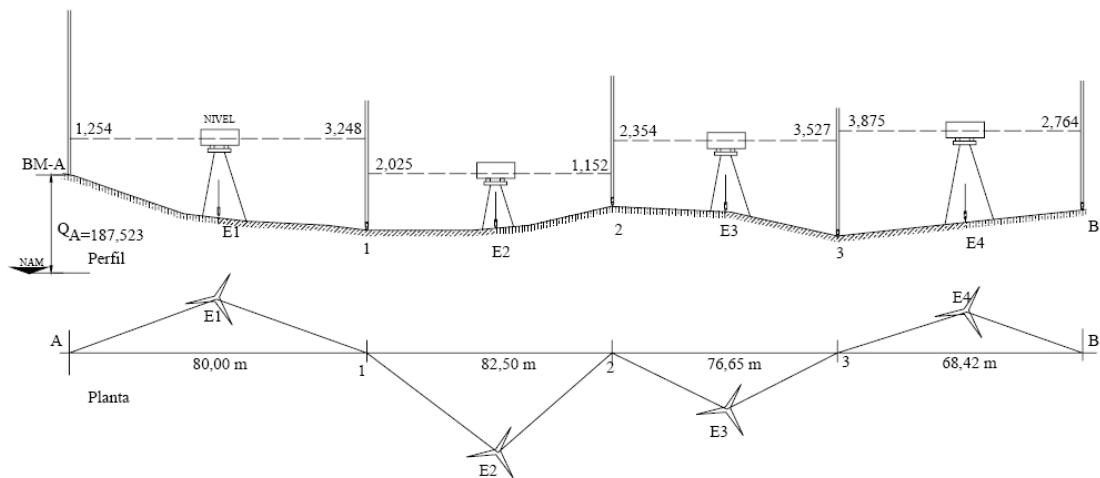


Ilustración 20. Gráfico de nivelación Geométrica.

Fuente: Axisima, 2014.

En los procesos de nivelación se acostumbra realizar una contra nivelación para obtener un parámetro comparativo de control. Para el caso de la Ilustración 20, la nivelación se realiza desde el BM-A, hasta el punto B. Si se pretende conocer los errores asociados con nivelación, se realiza una contra nivelación, es decir, se nivela nuevamente desde B hasta BM-A; la diferencia de nivel obtenida en cada sentido de la nivelación se interpreta como el error asociado a todo el proceso de nivelación. Según (Sánchez, 2003), existen algunos parámetros definidos, para clasificar la precisión en los circuitos de nivelación; para esto se tuvieron en cuenta los estándares técnicos del servicio Geodésico Inter Americano (IAGS: Interamerican Geodetic Service), en la que se destaca la siguiente clasificación:

- **Red de nivelación de primer orden:**

“Son las de mayor exigencia en nuestro país, constituyen aquellos puntos que han sido monumentados a través de hitos o mojones en concreto y ubicados de forma estratégica en zonas geológicamente estables y pertenecientes a la red geodésica del país. La distancia entre puntos consecutivos varía de 1,2 km en áreas montañosas, hasta 2,5 km en zonas planas. El error permitido entre líneas de este tipo de redes deben ser inferiores a $4\text{mm} \cdot \sqrt{K}$.” (Sánchez, 2003).

De esta manera, para una red de nivelación de 10 kilómetros de longitud, la diferencia que se encuentre entre la nivelación y contra nivelación deberá ser menor a $3\text{mm} \cdot \sqrt{10} = 9.49 \text{ mm}$, lo que permite concluir que en una nivelación de primer orden, al nivelar y contra nivelar, no podemos obtener diferencias superiores a 0.010 metros; en caso de que las diferencias en las nivelaciones sean superiores, se deberán repetir.

- **Red de nivelación de segundo orden:**

El propósito principal de estas redes de nivelación es complementar los vértices o circuitos de primer orden, de manera que se cuente en los sitios más poblados puntos de apoyo a los procedimientos topográficos orientados al levantamiento, control y actualización de información.

En este caso, las diferencias entre las nivelaciones y contra nivelaciones deben estar por debajo del valor obtenido en función de la expresión $4\text{mm} \cdot \sqrt{K}$, para nivelaciones de segundo orden clase I, y $\pm 6\text{mm} \cdot \sqrt{K}$, para redes de nivelación de segundo orden clase II.

- **Red de nivelación de tercer orden:**

Al igual que las redes de segundo orden, las de tercer orden cumplen el propósito de la densificación de vértices con elevación conocida; para este caso, las diferencias que se encuentren entre los procesos de nivelación y contra nivelación no deberán exceder la tolerancia dada por la siguiente expresión,

$8\text{mm} \cdot \sqrt{K}$, para nivelaciones de tercer orden clase I, y $12\text{mm} \cdot \sqrt{K}$, para nivelaciones de tercer orden clase II.

Así, existe dentro de los levantamientos convencionales; un procedimiento de gran importancia, la nivelación de precisión, la cual, a pesar de su simplicidad, constituye la base para la determinación correcta de cotas o alturas; en la Tabla 12 se muestra un resumen de las nivelaciones de precisión.

Tabla 12. Clasificación de nivelación de precisión.

| Clasificación | Cierre estándar de Elevación en (mm) |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Primer orden | $3\sqrt{K}$ |
| Segundo orden, clase I | $4\sqrt{K}$ |
| Segundo orden, clase II | $6\sqrt{K}$ |
| Tercer orden, clase I | $8\sqrt{K}$ |
| Tercer orden, clase II | $12\sqrt{K}$ |
| Cuarto Orden | $24\sqrt{K}$ |

K = raíz cuadrada de la distancia en kilómetros

Fuente: Modificado de (IGAC, 1997), y documento de estudio del Comité Técnico Nacional 028

3.3.4 Accesorios e Instrumentos Complementarios

La calidad de los datos producto de levantamientos topográficos, a diferentes escalas, no sólo depende en gran parte del instrumento utilizado, sino en gran medida de la instrumentación que acompaña los equipos. Los instrumentos más populares, que complementan la actividad de medida, son mostrados a continuación, y se recalca su importancia, ya que inciden directamente en la calidad del conjunto de datos que se levanta. Lo anterior hace necesario que deban ser revisados antes, durante y después de la ejecución de un proyecto de Topografía.

- Base nivelante
- Bastón con nivel circular para Topografía
- Bípode
- Cinta métrica
- Diana reflectiva
- Jalones
- Mira de Topografía con marcación métrica.
- Plomada
- Prismas con porta prisma
- Radios de comunicación
- Trípode
- Trípode para bastón

Así mismo, existen instrumentos suplementarios dentro de los levantamientos topográficos, orientados a la estimación de una medida; a pesar de no considerarse instrumentos de precisión, sí son importantes en el desarrollo de los trabajos de campo. Los más conocidos son:

- | | |
|------------------|---------------|
| ▪ Cámara Digital | ▪ Barómetro |
| ▪ Brújula | ▪ Disto laser |
| ▪ Altimetro | ▪ Termómetro |
| ▪ Odómetro | |
| ▪ Flexómetro | |

4. Metodologías de trabajo GNSS aplicadas en calidad

Los estudios topográficos son la base fundamental para la ejecución de un proyecto; dependiendo de la naturaleza del trabajo a desarrollar, se establecen las pautas a seguir y se definen las tolerancias permisibles para la evaluación final de los resultados obtenidos. Con el desarrollo de las tecnologías satelitales desde la década de los Ochentas, toma fuerza el concepto de la Geodesia espacial, lo cual planteó el escenario del posicionamiento a partir de los satélites, aunque inicialmente con fines militares, rápidamente se extendió al uso civil. Este capítulo estudia las diferentes metodologías de trabajo GPS/GNSS, frecuentemente utilizadas en el país por diferentes profesionales, todas ellas con un principio básico en común, el método diferencial, el cual se hace necesario para obtener un posicionamiento de precisión, y que además puede aplicarse, acorde con las necesidades del levantamiento y del recurso tecnológico del cual puede disponerse.

Junto con la explicación de cada método de trabajo GNSS, se realizará un análisis de las métricas de calidad, fundamentado en de las normas internacionales ISO aplicables a la valoración de calidad de datos geográficos, de los datos levantados en campo para el proyecto de infraestructura Pacífico-1, el cual integra las Autopistas de la Prosperidad, de gran importancia para el país. Se presenta como capítulo final del documento, el “Informe de validación GNSS” del proyecto Pacífico-1, el cual resume la aplicación de la metodología de evaluación de calidad, que se propone en el presente documento.

4.1 Equipos Topográficos en estudios GPS/GNSS

Dentro del estado actual de los levantamientos topográficos en Colombia, un segmento importante agrupa todos aquellos levantamientos de datos que se realizan con tecnologías satelitales. Un levantamiento topográfico tiene dos componentes importantes dentro de su estructura; por una parte, aquellos elementos que hacen referencia a la completitud y consistencia lógica de la realidad que se pretende representar con el levantamiento topográfico, y por otra parte, la relativa

a la exactitud posicional del levantamiento, que responde a la ubicación del estudio topográfico con relación a un sistema de referencia específico. En este orden de ideas, encontramos una gran variedad de equipos satelitales, los cuales se pueden clasificar inicialmente, acorde con su uso.

Tabla 13. Clasificación de los equipos GPS/GNSS acorde con el uso.

| TIPO DE ESTUDIO GPS/GNSS | EQUIPOS ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD |
|---|--|
| Navegación de Aproximación en escalas pequeñas con precisiones relativas horizontales de 3 a 15 metros. | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Navegadores GPS ✓ Navegadores GNSS |
| Mapeo y GIS, con precisiones relativas horizontales de 0.020 a 1 metro. | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Navegadores Sub métricos Diferenciales |
| Estudios topográficos, con precisiones relativas horizontales inferiores a 0.020 metros. | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Equipos GPS Multifrecuencia. ✓ Equipos GNSS (Multiconstelación) |

Fuente: Modificado de documento de estudio del Comité Técnico Nacional 028

Antes de concentrarse en las diferentes metodologías existentes para los levantamientos con equipos GNSS, se debe definir en principio dos tipos de Georreferenciaciones, que por su aplicación; cobran importancia en el contexto de los posicionamientos GNSS en Colombia:

- **Posicionamientos absolutos:** Los posicionamientos absolutos son los que con mayor frecuencia se realizan consciente o inconscientemente, por usuarios civiles y profesionales del área de la ingeniería; se habla de un posicionamiento absoluto cuando se registran las coordenadas de manera directa en un receptor satelital; un ejemplo claro es una conjunto de puntos grabados durante un recorrido con un navegador; en este caso, la calidad de las posiciones obtenidas depende de la geometría satelital del instante de grabación de los datos, así como de la cantidad de información del satélite que sea aprovechada por el receptor. Sin importar las bondades que ofrezca el quipo satelital la precisión que se puede obtener en un posicionamiento absoluto estará

afectado por una serie de factores, los cuales introducen algunos metros de error, con lo que se hace imposible garantizar precisiones submétricas en un posicionamiento absoluto.

Es importante resaltar que en un posicionamiento absoluto, las precisiones que se obtienen no pueden ser mejoradas posteriormente, y que los resultados son muy similares, ya sea que se trabaje con un navegador o con un equipo de mayor precisión, debido a que los errores asociados con la navegación satelital, sólo pueden ser mitigados por métodos diferenciales, correcciones posteriores a la toma de datos, salvo algunas señales de aumentación, que consisten básicamente en mejoras de la señal satelital limitada a territorios específicos. De esta manera, se calcula la posición de un punto, utilizando las medidas de pseudodistancias por código (C/A, L2C o P) con un solo receptor. La precisión del método está en menos de 10 metros (función del código utilizado).

- **Posicionamientos diferenciales:** Los posicionamientos satelitales se encuentran afectados por diferentes errores, los cuales sólo pueden ser reducidos o eliminados por métodos diferenciales; es necesario observar al menos con dos equipos simultáneamente. A continuación se muestran los errores más representativos:

Tabla 14. Errores de mayor trascendencia en los posicionamientos GPS/GNSS.

| Causa | Método Autónomo | Método diferencial |
|------------------------|-----------------|--------------------|
| Reloj del Satélite | 1.5 m | 0 |
| Errores en las órbitas | 0.5 m | 0 |
| Ionosfera | 5 a 45 m | 0.4 m |
| Troposfera | 0.5 m | 0.2 m |
| Efecto Multipath | 0.6 m | 0.6 m |

Fuente: Construcción propia

4.2 Posicionamientos estáticos

Los levantamientos con equipos satelitales en modo estático, son aquellos en los cuales, el objetivo principal de la actividad consiste en la asignación de coordenadas a un conjunto de puntos materializados en terreno, acorde con unos parámetros de calidad previamente establecidos. La característica principal en este tipo de levantamientos es que los registros se realizan por periodos de tiempo definidos en función de la calidad que se desea obtener en el posicionamiento.

El modo estático de posicionamiento diferencial se basa en la permanencia de los receptores durante tiempos de observación previamente establecidos. Es comúnmente utilizado como método clásico para grandes distancias (más de 20 km). Básicamente, consiste en ubicar dos o más receptores en los puntos a los que se les quieren conocer coordenadas, almacenar la lectura tomada durante el tiempo de observación (proporcional a la longitud de la línea) a los satélites y procesar estos datos en tiempo diferido en oficina. Es utilizado generalmente en aplicaciones de control geodésico, control de movimientos tectónicos, monitoreo de deformaciones y generación de redes geodésicas, entre otros.

4.3 Posicionamientos Cinemáticos

Este método requiere, a diferencia del método estático, menos tiempo de observación para la captura de datos. En su metodología se establece una estación fija y otra móvil, que se encargan de indicar mediante su recorrido, los puntos a los que se les va a asignar coordenadas de manera continua. Se debe realizar una inicialización para el receptor móvil; este método presenta resultados con precisión entre 1 metro-10 cm en cortos periodos de tiempo; una de sus mayores limitantes es la necesidad constante de contar con la visualización de por lo menos 4 satélites; en caso de que no sea así, hay que volver a inicializar el receptor móvil para retomar el trabajo. Es empleado en levantamientos de carretas, batimetría y la determinación de la trayectoria de objetos en movimiento.

4.4 Posicionamientos RTK

Conocido por sus siglas en inglés RTK (Real Time Kinematic). GNSS/GPS-RTK en tiempo real, consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión centimétrica (1 ó 2 cms.+1ppm). Usualmente se aplica este método a posicionamientos cinemáticos, aunque también permite posicionamientos estáticos. Es un método diferencial o relativo. El receptor fijo o referencia, estará en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras que el receptor móvil o "Rover", es el receptor en movimiento del cual se determinarán las coordenadas en tiempo real (teniendo la opción de hacerlo en el sistema de referencia local).

Precisa de su transmisión por algún sistema de telecomunicaciones, vía radio modem, entre la estación de referencia y el Rover; esta sería una restricción en la utilización de este método, debido a la dependencia del alcance de la transmisión. Sus aplicaciones son muchas en la Topografía, y van desde el levantamiento, hasta replanteos en tiempo real. En el contexto actual "tiempo real" hace referencia a la obtención de datos con la calidad adecuada, en el instante en que los receptores realizan las mediciones. Esto se consigue mediante la conexión con una red, estación o satélite, que transmite información adicional a las mediciones que los receptores realizan por medio de sistemas de radio módem (UHF. VHF) o internet, para que se realicen las correcciones necesarias en "tiempo real" y dar como resultado precisiones centimétricas.

4.5 Posicionamientos NTRIP

Junto con los desarrollos tecnológicos actuales se incorporan nuevas técnicas para realizar levantamientos topográficos. Estas técnicas permiten optimizar el tiempo y la calidad del trabajo realizado en campo. El protocolo NTRIP se basa en la transferencia de datos GNSS de estaciones de referencia, a una variedad de clientes. Éstos reciben los datos de corrección diferencial en sus receptores mediante un modem GSM/GPRS o la conexión a un dispositivo de telefonía celular, que

permita establecer comunicación con el proveedor de dichas correcciones, para lograr así un método diferencial en tiempo real.

En conclusión NTRIP es una Red de Transporte de Formato RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*); es un formato de mensaje estándar de transmisión de correcciones diferenciales GNSS a través del protocolo de internet, el cual permite emitir correcciones diferenciales en tiempo real a receptores Rover GNSS con precisiones de centímetros en un radio de cobertura de 35 a 50 km con una estación. Al aplicar la técnica NTRIP se busca obtener beneficios en cuestión de ahorro de recursos como tiempo y costos para los usuarios, en diferentes aplicaciones geoespaciales.

En este caso, existe un administrador del sistema, que se encarga de redirigir la información de las antenas o equipos GPS/GNSS previamente instalados a un servidor, el cual da salida a los datos a través de una dirección IP; de esta manera, la información recibida por los satélites es enviada a los diferentes usuarios, que utilizando alguno de los operadores de comunicación móvil disponible, pueden acceder a los datos y enviarlo a su receptor GPS/GNSS para acceder de esta manera una corrección a través de internet, que en tiempo real mejora la calidad de las observaciones satelitales. El proceso es mostrado en la ilustración 21.

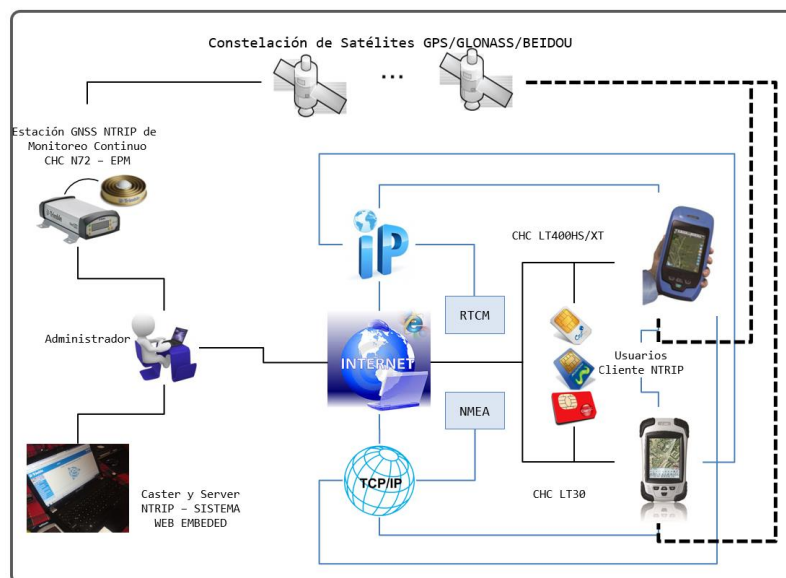


Ilustración 21. Diagrama de flujo Proceso Ntrip
Fuente: Construcción propia.

5. Medidas de la calidad en los estudios topográficos

Los productores de datos, como es el caso de los topógrafos e ingenieros topográficos, no proporcionan la información suficiente sobre la calidad con que un conjunto de datos, producto de un estudio topográfico, cumple con lo exigido de manera formal o implícita. Más importante aún, las organizaciones que participan en la adquisición y comercialización de datos geográficos no tienen en cuenta parámetros mínimos de calidad que garanticen la conformidad del producto, una vez concluidas las actividades de planificación, levantamiento de datos en campo y entregas finales, en muchos de los casos, por el desconocimiento generalizado que existe alrededor del tema, considerando la poca información de los procedimientos de evaluación de calidad, y de la manera apropiada para presentar un informe de la calidad de la información levantada en campo.

En el nivel de aceptación de un producto específico, condiciona el método de captura de datos en campo, y debe considerarse, sea que esté establecida o no como una de las especificaciones del producto. Por tanto, parámetros del estudio definidos desde los metadatos, los instrumentos asociados con el levantamiento, la cantidad de datos registrados, entre otros, se convierten en información de importancia en la evaluación de calidad del producto que se obtenga.

Los parámetros de calidad y la evaluación de calidad propuesta, están enmarcadas en las normas internacionales ISO 19113 (Principios de calidad), ISO19114 (Procedimientos para la Evaluación de Calidad), ISO 19115 (Información Geográfica de Metadatos), e ISO 19138 (Medidas de Calidad de los Datos). La ISO 19113 establece los principios a considerar para la descripción de la calidad de los datos geográficos y especifica los componentes de información de calidad para la presentación de informes. A su vez, la ISO 19114 define los procedimientos para la evaluación de la calidad, considerando las disposiciones para la determinación y evaluación, aplicable a conjuntos de datos geográficos digitales, referente a los principios de calidad de los datos definidos en la ISO 19113.

La ISO 19115, proporciona una estructura para describir información geográfica mediante elementos de metadatos y establece una terminología común para los mismos. Finalmente la ISO 19138 hace referencia a las Medidas de calidad de los datos, que describen no solamente los elementos de calidad de los datos geográficos, sino además la secuencia de pasos necesarios en la generación de un informe referente al estado de los mismos. Una evaluación de calidad va de la mano con el uso que se le dará a la información obtenida tras un levantamiento de campo, e involucra el procedimiento realizado al conjunto de datos objeto de estudio, que conlleva a la identificación de los elementos, y sub elementos de calidad presentes, los cuales deberán ser medibles con la aplicación de un método de evaluación que conduzca a establecer la conformidad del producto final.

A pesar de que existen normas internacionales acerca de la calidad, los procedimientos de evaluación no se muestran con claridad, por tal razón es necesario realizar un estudio intensivo de las normas; sólo de esta manera sería posible desarrollar una propuesta de evaluación; por tal razón se explican a continuación todas las consideraciones de importancia, previo a una evaluación de calidad, así como un propuesta de evaluación detallada aplicable a cualquier conjunto de datos.

5.1 Elementos y sub elementos de calidad aplicables a los levantamientos topográficos

Cuando se tiene información, producto de un levantamiento de datos en campo de manera directa o indirecta, es posible que el producto obtenido cumpla con los criterios definidos con anterioridad; los elementos de calidad y sub elementos tienen por objeto describir el grado de adecuación de un conjunto de datos a los requisitos establecidos en la especificación del producto y proporcionan información sobre la calidad.

Los elementos de la calidad de datos permiten evaluar la diferencia entre el conjunto de datos producido y los requisitos definidos como especificación del producto. Los elementos y sub elementos de calidad de los datos deben aplicarse según corresponda de manera correcta, sólo así tendrán el efecto de describir el grado de adecuación de los datos

acorde con los criterios definidos para el estudio topográfico. Los elementos y sub elementos de calidad identificables en cualquier evaluación de calidad de un conjunto de datos geográficos se explican a continuación, teniendo como referencia la Norma ISO 19113:

A. Completitud: presencia y ausencia de fenómenos, sus atributos y relaciones,

Sub elementos:

- Comisión: datos excedentes presentes en un conjunto de datos,
- Omisión: datos ausentes de un conjunto de datos.

B. Consistencia lógica: grado de cumplimiento a las reglas lógicas de la estructura de los datos, atributos y relaciones (la estructura de los datos puede ser conceptual, lógica o física).

Sub elementos:

- Consistencia conceptual: adhesión a las normas del esquema conceptual.
- Consistencia de dominio: adherencia de los valores a su dominio.
- Consistencia de formato: grado en que los datos se almacenan de acuerdo con la estructura física del conjunto de datos.
- Consistencia topológica: corrección de las características topológicas explícitamente codificadas de un conjunto de datos.

C. Exactitud posicional: exactitud de la posición de los fenómenos.

Sub elementos:

- Exactitud absoluta o externa: proximidad entre los valores de coordenadas reportados y los valores verdaderos o aceptados como verdaderos.

- Exactitud relativa o interna: proximidad entre las posiciones relativas de fenómenos de un conjunto de datos y sus respectivas posiciones relativas verdaderas o que son aceptadas como verdaderas.
- Exactitud posicional de datos en malla: proximidad de los valores de posición de los datos en estructura de cuadrícula regular a los valores verdaderos o aceptados como verdaderos.

D. Exactitud temporal: exactitud de los atributos temporales y de las relaciones temporales de los fenómenos.

Sub elementos:

- Exactitud de una medida de tiempo: corrección de las referencias temporales de un ítem (presentación de informe del error en la medida del tiempo).
- Consistencia temporal: corrección de los eventos ordenados o de las secuencias, si se informan.
- Validez temporal: validez de los datos con respecto al tiempo.

E. Exactitud Temática: exactitud de los atributos cuantitativos y corrección de atributos no cuantitativos y de las clasificaciones de los fenómenos y sus relaciones. Elementos de calidad de datos adicionales se pueden crear para describir componentes cuantitativos de la calidad de un conjunto de datos que no se abordan en la norma internacional

Sub elementos:

- Corrección de la clasificación: comparación de las clases asignadas a fenómenos o a sus atributos, en relación a las que les corresponde en el universo de discurso.
- Corrección de atributo no cuantitativo: corrección de los atributos no cuantitativos.

Exactitud de atributo cuantitativo: exactitud de los atributos cuantitativos.

Nota: Sub elementos de calidad de datos adicionales pueden ser creados para cualquiera de los elementos de calidad de datos.

En la mayoría de los casos, previo a definir elementos y sub elementos de calidad de un conjunto de datos se debe conocer el propósito de la información, el cual proporciona información sobre las razones para crear el conjunto de datos y sobre su uso pretendido, y el linaje u origen de los datos; este último, en casos extremos podrá ser desconocido, pero se deberá tener explicación clara de la falta de información referente al origen los datos.

La síntesis de los elementos y sub elementos de calidad se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Elementos y sub elementos de calidad

| Elementos de calidad de los datos | Sub elementos de calidad de los datos |
|-----------------------------------|--|
| Compleitud | Comisión |
| | Omisión |
| Consistencia Lógica | Consistencia Conceptual |
| | Consistencia de dominio |
| | Consistencia de formato |
| | Consistencia Topológica |
| Exactitud Posicional | Exactitud absoluta o externa |
| | Exactitud relativa o Interna |
| | Exactitud posicional de datos en malla |
| Exactitud Temporal | Exactitud de una medida de tiempo |
| | Consistencia temporal |
| | Validez Temporal |
| Exactitud Temática | Corrección de la clasificación |
| | Corrección de atributo no cuantitativo |

Fuente: Construcción propia con referencia a la norma ISO 19113, (2002).

5.2 Métodos de evaluación de la calidad aplicables a los levantamientos topográficos.

La evaluación de calidad como proceso puede ser usada en diferentes momentos de vida de un producto, con diferentes objetivos en cada fase. Producir e informar un resultado referente a la calidad de un conjunto de datos producto de un estudio topográfico, necesita de una secuencia de pasos, aplicables tanto a datos estáticos como dinámicos. Los conjuntos de datos dinámicos son los que se actualizan frecuentemente, caso puntual, las coordenadas de un punto que varían con el paso del tiempo, de modo que prácticamente y a todos los efectos, son los que están cambiando continuamente; lo opuesto ocurre con referencia a los datos de naturaleza estática.

Los procedimientos de evaluación de calidad de datos se dividen en dos clases principales: directos e indirectos. Los métodos directos determinan la calidad de datos a través de su comparación con la información de referencia interna y/o externa. Los métodos indirectos son producto de la estimación de la calidad de los datos usando información de los propios datos, tal como su origen, metodología, y especificaciones propias de los equipos utilizados.

5.2.1 Métodos directos de evaluación de la calidad.

“El método directo de evaluación se divide en dos tipos; el primero de ellos, el método interno, en el cual todos los datos necesarios en el análisis pertenecen al conjunto de datos a evaluar. El método externo, requiere de datos de referencia por fuera del conjunto de datos que se está evaluando. Tanto en el método de evaluación interno como externo, se tienen dos alternativas a considerar, automatizada o no automatizada e inspección completa o muestreo. Cuando se habla de un método de evaluación automatizado, se consideran elementos y sub elementos que responden a un patrón o comportamiento específico para su evaluación, como un signo positivo o negativo, que permiten la evaluación automática.” ISO 19114, (2003).

La inspección completa requiere la comprobación de cada elemento del conjunto de datos, y, es más apropiada para poblaciones pequeñas o para pruebas que se pueden realizar de forma automatizada. Por el contrario, el muestreo requiere una comprobación de suficientes elementos de la población para lograr un resultado representativo de la calidad de los datos, incluyen muestreo aleatorio simple, muestreo estratificado (por ejemplo, guiado por un tipo de fenómeno, una relación de fenómeno o un área), y muestreo no aleatorio. En cada caso existe una serie de pasos que deben ser realizados.

Procedimiento para la inspección completa:

- a) Definición de elementos: Es la unidad mínima que puede ser analizada, puede ser un fenómeno o un atributo.
- b) Inspección de elementos en el ámbito de calidad de los datos: Análisis de cada elemento en el ámbito de calidad definido.

Procedimiento de muestreo:

- a) Definir un método de muestreo: dentro de las alternativas se tienen, muestreo aleatorio simple, muestreo estratificado, y muestreo no aleatorio.
- b) Definir los elementos: puede ser un fenómeno, un atributo, o una relación de un fenómeno.
- c) Dividir el ámbito de la calidad de los datos en lotes: Un lote es un conjunto de ítems en el ámbito de la calidad de los datos; en otras palabras, un lote es un conjunto de elementos producido bajo las mismas condiciones.
- d) Dividir el lote en unidades de muestreo: Una unidad de muestreo es el área donde se lleva a cabo el análisis o inspección.
- e) Definir el tamaño de la muestra: Informa cuántos elementos se extraen del lote para su inspección.
- f) Seleccionar unidades de muestreo: Esta selección debe garantizar que se cumpla con el tamaño adecuado de la muestra para los elementos.

- g) Inspeccionar los elementos en las unidades de muestreo: Analizar de cada elemento las unidades de muestreo.

5.2.2 Métodos Indirectos de Evaluación de la calidad.

El método indirecto de la evaluación de calidad de un conjunto de datos, está basado en el conocimiento externo. Este conocimiento externo puede incluir, pero sin limitarse a ello, los elementos generales que describen la calidad de los datos, y otros informes sobre la calidad del conjunto de datos o sobre los datos usados para producirlo. Este método sólo es recomendado si los métodos directos de evaluación de la calidad no pueden aplicarse, y la información sobre el uso registra las aplicaciones de un conjunto de datos; de esta manera se cuenta con información de conjuntos de datos que se han producido para objetivos específicos.

Por tratarse de un método indirecto, requiere de datos de referencia externos, es decir, la fuente de la información involucra datos que de una u otra manera guardan alguna relación con el propio conjunto de datos que se está evaluando.

5.3 Medidas de la calidad de los datos

Las medidas de la calidad de datos exigen la creación de un registro basado en indicadores, así como de medidas múltiples definidas para cada sub elemento de calidad; la elección de estas medidas a utilizar estará en función del tipo de datos y el propósito que se persiga, considerando que diversos usuarios y aplicaciones exigen diferentes requerimientos de calidad. En consecuencia, es fundamental que los informes de calidad sean expresados de forma comparable y que se garantice la comprensión de las medidas de calidad empleadas.

5.4 Componentes presentes en las medidas de calidad de los datos

Acorde con ISO 19114, (2003), las medidas de la calidad de datos geográficos o topográficos necesita de algunos componentes para ser descrita; cada uno de ellos se explica a continuación.

- Nombre: Nombre de la medida de la calidad de los datos, siempre deberá elegirse un nombre que refleje la naturaleza de la medida.
- Alias: Abreviatura o nombre corto para la medida de calidad de los datos.
- Elementos de calidad de los datos: Nombre del elemento del cual se informará la calidad.
- Sub elemento de calidad de los datos: Sub elemento asociado con la medida del cual será informada la calidad.
- Medida básica de la calidad de los datos: Es aquella de la cual se deriva la medida de calidad de los datos; considera diferentes métodos para establecer los errores o cuantificar el número de valores correctos; el nombre de esa medida básica de calidad deberá incluirse. Existe un grupo amplio de diferentes medidas básicas de la calidad que suelen aplicarse; dentro de las más utilizadas, se encuentran:
 - *Indicador de error:* Indica si un elemento es falso, tiene un error booleano; es decir, las expresiones booleanas se usan para determinar si un conjunto de una o más condiciones es verdadero o falso, y el resultado de su evaluación es un valor de verdad.

- *Indicador de corrección*: Indica si un elemento no está en error.
 - *Conteo de errores*: Indica el número total de elementos erróneos en el conjunto de datos.
 - *Conteo de elementos correctos*: Indica el número total de elementos libres de errores en el conjunto de datos.
 - *Tasa de error*: Considera el conteo de errores, dividido por el número de elementos que debería haber estado presentes en el conjunto de datos.
 - *Tasa de elementos correctos*: Lo integra el número de elementos que deberían haber estado en el conjunto de datos, definido por el ámbito de la calidad de los datos.
 - *Porcentaje de error*: Conteo de errores, dividido por el número de elementos que deberían haber estado presentes en el conjunto de datos, definido por el ámbito de la calidad de los datos, multiplicado por 100.
 - *Porcentaje de elementos correctos*: Conteo de elementos correctos, dividido por el número de elementos que deberían haber estado presentes en el conjunto de datos, definido por el ámbito de la calidad de los datos-, multiplicado por 100.
 - *Proporción de error*: Conteo de errores, como una proporción del número total de elementos que deberían haber estado presentes en el conjunto de datos, definido por el ámbito de la calidad de los datos.
 - *Proporción de elementos correctos*: Conteo de elementos correctos, como una proporción del número total de ítems que deberían haber estado presentes en el conjunto de datos, definido por el ámbito de la calidad de los datos.
- *Definición*: la definición del método es heredada de la medida básica de calidad de los datos.
 - *Descripción*: La descripción de una medida de calidad incluye todas las fórmulas e ilustraciones necesarias en el proceso; se

debe dejar claro bajo qué criterio un ítem podrá ser calificado como correcto o incorrecto.

- Parámetro: Es una variable utilizada por la medida de calidad, que incluye nombre, definición y descripción.
- Tipo de valor de calidad de los datos: corresponde con el valor adoptado para informar el resultado de la calidad de los datos; puedes ser booleano, una proporción, porcentaje, Tabla, matriz, referencia, texto libre, un número real, o un entero, cobertura, o un dato del fenómeno.
- Referencia de la fuente: Se utiliza sólo cuando la medida de calidad se realiza con información adicional de una fuente externa al conjunto de datos original, objeto de la medición.
- Ejemplo: Corresponde con la ilustración de la medida de la calidad, utilizando un ejemplo para ello.
- Identificador: Número entero, consecutivo, que identifica de forma inequívoca, una medida de calidad de los datos dentro de un registro.

5.5 Presentación de la evaluación de calidad

La presentación de la evaluación de calidad describe el contenido en un informe detallado de evaluación cuantitativa de calidad. El informe proporciona más detalle sobre los resultados de la calidad y los procedimientos utilizados para calcularlos. Se presenta a continuación los componentes necesarios a considerar en la presentación de un informe de la calidad de los datos.

Número de fila: da una referencia para cada elemento de la Tabla y se usa en la columna de dominio para mostrar el rango de los componentes de este elemento en la Tabla.

- DQ_Scope / Nombre: nombre del elemento en el informe.
- DQ_Element / Definición y contenido: define el elemento o describe su contenido.
- DQ_Subelement / Sub Elemento de calidad evaluable: Define el sub elemento de calidad.
- DQ_MeaSureDesc / Descripción de la medida de calidad: Indica el tipo de medida aplicable al conjunto de datos.
- DQ_MeaSureID / Identificador de la medida: Valor numérico que identifica el sub elemento de calidad, objeto de medida de calidad.
- DQ_EvalMethodDesc / Descripción del método de evaluación: Describe el método de evaluación de calidad. Todas las listas de medidas de calidad y métodos propuestos para cada elemento y sub elemento de calidad, para diferentes conjuntos de datos geográficos, se muestran en el Anexo C de la norma ISO 19138.
- DQ_EvalMethodType / Tipo de evaluación: Hace referencia al tipo de evaluación, que puede ser interna o externa al conjunto de datos.
- DQ_EvalMethodDesc / Descripción del método: Describe con claridad las características del método utilizado, de manera resumida.

- DQ_ValueType / Tipo de Valor: Hace referencia al tipo de valor, en términos de la evaluación de calidad; es decir, si se expresa en porcentaje, números enteros, real, entre otros.
- DQ_Value / Valor de evaluación: Indica el valor cuantificable obtenido tras la evaluación de calidad.
- DQ_ValueUnit / Unidad de valor: Indica el tipo de unidad asociado con el valor de la evaluación.
- DQ_Date / Fecha: Indica la fecha de la evaluación de calidad.
- DQ_ConformanceLevel / Nivel de conformidad: Cantidad de errores o no conformidades detectadas después de la evaluación.
- Parámetros del conjunto de datos: Explica el parámetro considerado para la evaluación de calidad.
- Interpretación del resultado de calidad: Explicación del resultado conforme o no conforme de la evaluación de calidad.

Tabla 16. Ejemplo presentación de evaluación de calidad

| Medidas y Componentes de calidad de datos | |
|--|--|
| DQ_Scope | Todos los elementos clasificados como vértices de primer orden, reportados en coordenadas geocéntricas, planas de Gauss-Kruger y elipsoidales, deberán ser expresados en metros, como unidad de medida lineal, y en grados, minutos y segundos, como unidad de medida angular. |
| DQ_Element | Consistencia Lógica |
| DQ_Subelement | Consistencia de Formato |
| DQ_MeaSure | |
| DQ_MeaSureDesc | Número de inconsistencias en el formato |
| DQ_MeaSureID | 5 |
| DQ_EvalMethod | |
| DQ_EvalMethodType | Interno |
| DQ_EvalMethodDesc | Se compara la estructura de los registros de todos los elementos dentro del ámbito de aplicación, con las definiciones de los campos y estructura especificada y se contabilizan aquellas que son inconsistentes. |
| DQ_QualityResult | |
| DQ_ValueType | Entero |
| DQ_Value | 0 |
| DQ_ValueUnit | Violaciones del formato. |
| DQ_Date | 2015-08-18 |
| DQ_ConformanceLevel | 0 |
| Parámetros del conjunto de datos | 94 elementos están dentro del ámbito. Cero elementos violan el formato especificado. |
| Interpretación del resultado de calidad | Conjunto de datos conforme; no se han encontrado violaciones del formato. |

Fuente: Norma técnica ISO 19114

5.6 Reporte de la evaluación de calidad aplicada a los levantamientos topográficos.

La evaluación de la calidad se puede representar por uno o varios resultados agregados de calidad de datos (ADQR: por sus siglas en inglés: aggregated data quality results). En el ADQR se combinan los resultados de calidad obtenidos de las evaluaciones de calidad de datos, basadas en diferentes elementos, sub elementos y/o ámbitos de calidad de los datos. Un resultado producto de una evaluación de la calidad puede ser cuantitativo o cualitativo, y puede ser representado por un valor numérico o Booleano (a cada resultado de la calidad de los datos, incluido en el cálculo, se le da un valor booleano de uno (1), si ha pasado la prueba, y cero (0), si ha fallado. ISO 19114, (2003)

De esta manera, Si $ADQR = 1$, la calidad global del conjunto de datos, se considera completamente aceptable, por lo tanto se aprueba. Si $ADQR = 0$, entonces se considera no conforme, en consecuencia, falla. Esta técnica no proporciona un resultado que indique la localización o magnitud de la no conformidad.

Uno de los aspectos más importantes según ISO19114, (2009), es que el resultado de la calidad de los datos deberá ser proporcionado por cada medida de calidad de los datos, y será cualquiera de los dos siguientes: el valor o conjunto de valores obtenidos de la aplicación de una medida de la calidad a los datos, especificados por un ámbito de calidad de los datos, o el resultado de evaluar el valor, o conjunto de valores, obtenido de la aplicación de una medida de la calidad a los datos, especificados por su ámbito. Este último tipo de resultado es referido en esta norma internacional como conforme/no conforme.

Ejemplo: En una evaluación de calidad, el resultado referido al elemento "completitud" y al sub elemento "comisión" es de "90", con un valor de tipo "porcentaje", es un ejemplo de valor que resulta de la aplicación de una medida de la calidad. Un resultado de la calidad "verdadero", al que le corresponde un tipo "variable booleana", es decir, una variable con dos resultados posibles, (para el caso, verdadero o falso) es un ejemplo de comparación del valor (90%) frente a un nivel

de conformidad específico (85%) y a su informe de evaluación en la forma de “conforme” o “no conforme.

6. Propuesta metodológica para la evaluación de calidad aplicada a los levantamientos topográficos

Las normas ISO 19113, ISO 19114, ISO 19115, e ISO 19134, contienen información detallada, referente a la evaluación de calidad que es posible realizar a un conjunto de datos de tipo geográfico; sin embargo, no existe una propuesta metodología pertinente al desarrollo de la evaluación de calidad; cada norma relaciona de manera directa temas específicos necesarios en la evaluación. Este capítulo establece una propuesta de evaluación de calidad, aplicada a levantamientos topográficos, considerando las normas ISO, que puede ser aplicada por cualquier profesional que demande el uso de datos geográficos y que requiera conocer el nivel de conformidad de su información.

De esta manera, la propuesta de evaluación de calidad que se presenta, permite describir y evaluar el nivel que un conjunto de datos geográficos realmente cumple con lo especificado en el producto de manera formal o implícita. Este procedimiento podrá ser utilizado por todas aquellas organizaciones y profesionales que continuamente adquieren y comercializan datos y que necesitan en mayor o menor medida satisfacer las especificaciones de calidad de un producto previamente definido.

Básicamente, se definen una serie de pasos en el proceso de evaluación de calidad, tal cual como se muestra a continuación:

- i) Definir los datos de origen y el linaje de los mismos.
- ii) Resultados reportados por el productor de la información georreferenciada.
- iii) Análisis de requisitos o especificaciones asociados con el estudio.
- iv) Identificar los recursos necesarios para llevar a cabo la evaluación de calidad.
- v) Identificar Normas o Estructuras correctas pertinentes a la evaluación de calidad.
- vi) Construir un resumen de información cuantitativa pertinente de calidad.

- vii) Definir los elementos y sub elementos de calidad pertinentes en la evaluación.
- viii) Realizar las medidas básicas de calidad de los datos y el método de evaluación.
- ix) Seleccionar el conjunto de datos pertinentes para la evaluación de calidad.
- x) Realizar la evaluación de calidad de los datos y reportarla.

La ilustración 22 resume la metodología propuesta para la evaluación de calidad.

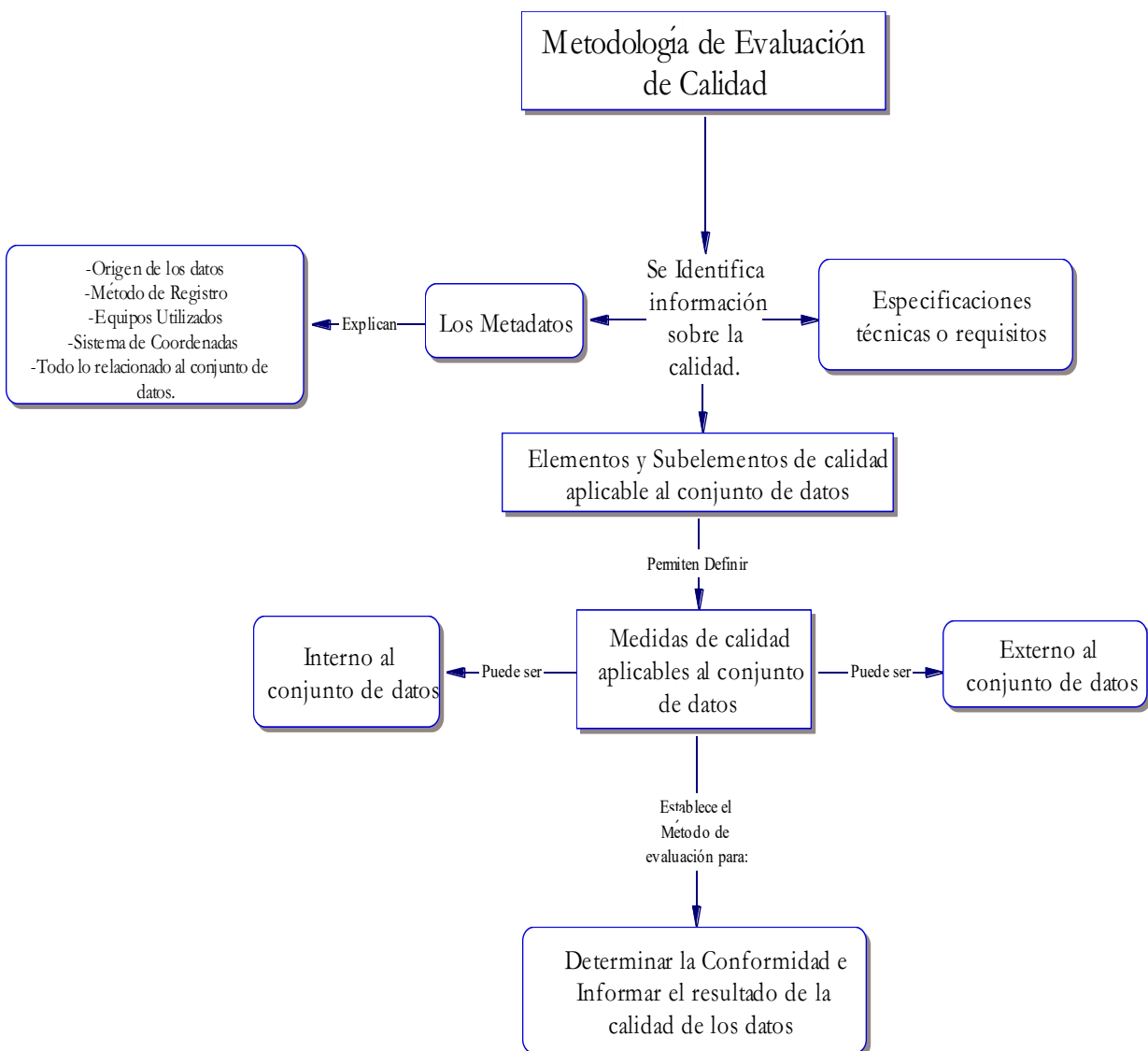


Ilustración 22. El procedimiento detallado de la evaluación de calidad

Fuente: Construcción propia.

6.1 Metadatos.

Los datos de origen conforman la estructura de la información y de ellos se desprenden dos aspectos fundamentales de la información, que deben ser identificados desde un principio, el propósito y el uso. Se recomienda revisar en detalle la Norma ISO 19115 sobre Metadatos, es decir, los datos de los datos, los cuales ofrecen información sobre la calidad, el propósito, y describe de manera simple la justificación para la creación de un conjunto de datos. A la vez que el uso describirá la aplicación o aplicaciones dadas al conjunto de datos, previo a la evaluación de calidad o la definición de un conjunto de datos para su análisis, se deben responder preguntas básicas, como:

- El qué: nombre y descripción del recurso.
- El cuándo: fecha de creación de los datos, periodos de actualización, entre otros.
- El quién: creador de los datos.
- El dónde: extensión geográfica.
- El cómo: modo de obtención de la información, formato, entre otros.

Existen diferentes elementos de metadatos de importancia, que se pueden definir en un conjunto de datos, los cuales aportan información, están clasificados como elementos de metadatos obligatorios, optativos, y condicionales.

- i) Los elementos de metadatos obligatorios, como su nombre lo indica, son necesarios previo a la definición de un conjunto de datos; ver Tabla 17.

Tabla 17. Elementos de metadatos obligatorios.

| Elementos de Metadatos Obligatorios | Descripción |
|--|--|
| Título del Conjunto de Datos | Nombre asociado con el objeto de creación de los datos. |
| Fecha de Referencia | Fecha de creación del conjunto de datos. |
| Idioma del Conjunto de Datos | Idioma asociado con el estudio. |
| Categoría del tema | Clasificación del estudio, acorde con el tipo de datos geográficos |
| Resumen descriptivo | Resumen de las características de los datos. |
| Fecha de los Metadatos | Fecha de datos complementarios necesarios para el estudio. |

Fuente: Modificado de Bravo, M.J., Rodriguez, C., Domenech, E., (2009).

- ii) Elementos de metadatos Optativos; corresponden a información que contribuye a la descripción del conjunto de datos, pero que en cualquier caso no son indispensables para el estudio del objeto principal que se intenta describir; ver Tabla 18.

Tabla 18. Elementos de metadatos optativos

| Elementos de Metadatos Optativos | Descripción |
|---|---|
| Parte responsable del Conjunto de Datos | Persona o entidad de los datos. |
| Resolución espacial del conjunto de datos | Hace alusión a la capacidad de distinguir dos objetos sin confundirlos |
| Formato de Distribución | Hace referencia a la estructura de organización de datos, acorde con un archivo o extensión específica. |
| Extensión vertical y temporal | Información del cubrimiento, o extensión geográfica de los datos. |
| Tipo de representación espacial | Corresponde al tipo de entidades utilizadas, tales como puntos, líneas, polígonos y demás. |
| Sistema de Referencia | Conjunto de convenciones y conceptos teóricos adecuadamente modelados, que definen en cualquier momento, la orientación, la ubicación y la escala de tres ejes coordenados. |
| Linaje | Se define como un ciclo de vida de datos, que incluye el origen de los datos y dónde se mueve con el tiempo. |
| Recurso en línea | Corresponde a los recursos digitales y |

| | |
|--|---|
| | no digitales localizados en un sistema |
| Identificador del Fichero de Metadatos | Corresponde a un código o número asociado a un archivo, con información de los datos. |
| Norma de Metadatos | Norma asociada con el estudio y clasificación de metadatos |
| Versión de la Norma de Metadatos | Versión asociada con la norma de consideración. |

Fuente: Modificado de ISO 19115, (2009).

iii) Elementos de metadatos condicionales; son fundamentales, puesto que contienen información asociada con reglas geográficas establecidas, y por ende, son de gran importancia en la definición de requisitos, que se considera debe cumplir un conjunto de datos.

Tabla 19. Elementos de Metadatos Optativos

| Elementos de Metadatos Condicionales | Descripción |
|--|--|
| Localización geográfica de los Datos | Responde a un sistema de referencia que permite su ubicación espacial. |
| Conjunto de caracteres del Conjunto de Datos | Corresponden a códigos que representan información importante de los datos. |
| Idioma de los Metadatos | Corresponde con el tipo de lenguaje utilizado en términos geográficos y contexto específico. |
| Conjunto de caracteres de los Metadatos | Caracteres presentes que adoptan un papel de convención. |
| Punto de contacto para los Metadatos | Parte con la que se puede contactar para solicitar información o adquirir el recurso. |

Fuente: Modificado de Bravo, M.J., Rodriguez, C., Domenech, E., (2009).

Tabla 20. Ejemplo de metadatos

| ITEM | INFORMACIÓN ASOCIADA |
|--|--|
| Entidad contratante | Es importante conocer la naturaleza de quién realiza la solicitud de la información, para validar los requisitos presentes en el estudio |
| Norma Asociada | ISO 19115 |
| Versión de la Norma | V2003 |
| Idioma | Español |
| Resumen descriptivo | Ejemplo: Estudio Topográfico del Diseño, Cálculo y Ajuste de la Red GPS, Poligonación Planimétrica y altimétrica para el Proyecto Vial “PACIFICO-1”. |
| Empresa o profesional encargado del estudio | Existen algunos detalles que se omiten en muchas oportunidades en los informes, que relaciona información georreferenciada; por tal razón, tener la posibilidad de reducir la incertidumbre a través de la fuente directa de quien realiza el estudio, es fundamental para la evaluación de calidad. |
| Nombre del estudio desarrollado | El nombre del estudio; orienta claramente la evaluación de calidad a un propósito específico. |
| Equipos utilizado por la empresa encargada del estudio | Es importante conocer los instrumentos asociados con los datos objeto de la validación; de esta manera, se obtienen las posibles limitantes de precisión en el estudio, referente al instrumental utilizado. |
| Información de referencia. | Si existe, se debe verificar las fuentes que afectan de manera directa o indirecta la información presentada. |
| Método de captura y cálculo de datos | El método de captura y cálculo de datos es el primer indicio en el alcance que se le puede dar a un conjunto de datos a la información presentada. |
| Modelo asociados | Si es el caso, se establecen los modelos utilizados y sus limitaciones técnicas, que afectan de manera directa al universo del discurso. |
| Consideraciones Físicas del conjunto de datos | Si existen construcciones o elementos físicos asociados con el conjunto de datos, se deben tener en cuenta sus especificaciones y ser documentadas dentro del informe de evaluación de calidad. |

Fuente: Modificado de Bravo, M.J., Rodriguez, C., Domenech, E., (2009).

Pueden crearse elementos generales adicionales para describir aspectos de la calidad de un conjunto de datos; lo anterior constituye un ejemplo de los datos de origen.

6.2 Resultados reportados por el productor de información

Dentro del informe de evaluación de calidad debe identificarse los resultados producto del conjunto de datos; es decir, la información o conclusiones obtenidas; estos resultados orientan de forma definitiva la evaluación de calidad en cuanto al tratamiento dado a los datos que integran el estudio. Y conectan de manera directa los elementos de calidad que se pueden definir dentro de la evaluación, con las especificaciones técnicas definidas por el contratante o quien solicita la información.

Es información existente, no deberá modificarse ni alterarse, puesto que constituye el eje de todo lo que se pretende. Por tanto, deberá ser mostrada dentro del informe de evaluación de calidad, bajo las mismas condiciones de cómo se reporta la información.

6.3 Análisis de requisitos o especificaciones asociados con el estudio.

Se define dentro del informe de evaluación de calidad todos los requisitos que debe cumplir la información objeto de análisis; por lo regular, los requisitos o especificaciones técnicas se encuentran incluidas en documentos o apéndices técnicos asociados, por tanto deberán ser citados dentro del informe. Adicionalmente, se deberán incluir y definir todos los requisitos que, aunque no se encuentren en los documentos oficiales, estén asociados de manera directa con el estudio realizado o constituyan elementos de juicio de importancia en la especificación del producto.

6.4 Identificar los recursos necesarios para llevar a cabo la evaluación de calidad.

Se debe tener en cuenta los recursos necesarios en la realización de la evaluación de calidad; es decir, el recurso humano necesario, las fuentes de información, los equipos o instrumental, la logística, entre otros.

Es importante aclarar, en cuanto al recurso humano, que se cuente con el personal con el conocimiento o experiencia en la adquisición de productos similares al que se pretende evaluar; sin embargo, esto no quiere decir que sea esta misma persona quien realice la evaluación de calidad, puesto que puede existir un equipo de apoyo para los diferentes procesos que involucre la evaluación de calidad de un producto dado, pero quien esté a cargo de la evaluación sea un profesional diferente, con conocimiento en el tema. En cuanto al instrumental o equipos utilizados, se debe garantizar que sus especificaciones técnicas sean iguales o superiores a los utilizados en la obtención del producto objeto de la evaluación; igualmente, las fuentes de información, como bases de datos, productos geográficos como imágenes satelitales, cartografía y demás, deberán estar certificadas, de manera que se garantice su alcance en términos de aplicabilidad y uso.

6.5 Identificar Normas o Estructuras correctas pertinentes a la evaluación de calidad.

Para el desarrollo de la evaluación de calidad de datos, es necesario identificar las normas o estructuras correctas que pretende utilizarse para tal fin. De esta manera, se establecen las reglas para que tanto los productores de información, como los consumidores, informen sobre la calidad de los datos. Así, los usuarios interesados podrán realizar las evaluaciones de calidad; esto es posible mediante la normalización de los componentes y estructuras de las medidas de calidad de datos.

Lo anterior sólo puede ser posible con un estudio intensivo de las normas que regulan la materia de evaluación de calidad ya mencionadas, de las que se desprende la metodología de evaluación del conjunto de datos propuesta. Es fundamental que los resultados de los informes de calidad sean expresados de forma comparable, y que exista una comprensión uniforme de las medidas de calidad de los datos que fueron empleadas; por consiguiente, en el apartado específico se hará referencia puntual de cada una de ellas, puesto que no es el alcance del presente documento redefinirlas, sino orientar al usuario de manera clara en los pasos necesarios en la evaluación de calidad de los datos.

6.6 Construir un resumen de información cuantitativa pertinente de calidad.

La construcción de un resumen de información cuantitativa pertinente a la calidad de datos está orientada a la identificación de los elementos y sub elementos que pueden ser aplicados en la evaluación de calidad de datos; es necesario además, considerar los propósitos que cumple la información. Lo anterior se consigue con párrafos referentes a la especificación del producto e identificar correctamente la pertinencia de un elemento y sub elemento de calidad aplicable al conjunto de datos. La Tabla 21 es un ejemplo que explica en detalle el resumen de información cuantitativa.

Tabla 21. Ejemplo de párrafos relevantes a la especificación de un producto

| Párrafos relevantes de la especificación de producto para documentar la aplicabilidad | Elemento y sub elemento de calidad de datos aplicables |
|---|---|
| Exceso de componentes geográficas asociadas a cada punto. Cada vértice deberá estar expresado en tres tipos de coordenadas diferentes (Elipsoidales, Geocéntricas, y Proyectadas), cada tipo a su vez con los elementos necesarios para su localización e identificación. | Compleitud Comisión |
| Instalación de puntos GPS a lo largo del corredor, con intervalos máximos de distancia entre puntos, de tres kilómetros. | Compleitud Omisión |
| Todos los circuitos de cierre o poligonales cerradas | Consistencia Lógica |

| | |
|--|---|
| deberán tener una razón o grado de precisión superior a 1:100.000. | Consistencia Topológica |
| Todos los vértices o puntos de control del proyecto deberán ser calculados y reportados en el sistema de referencia espacial MAGNA SIRGAS. | Consistencia Lógica Consistencia de dominio |
| Las componentes de vértices principales deberán ser expresadas en coordenadas geocéntricas, para el correcto cálculo de épocas, y en metros, al igual que para el sistema proyectado, como lo son las coordenadas Planas de Gauss Kruger. Las coordenadas elipsoidales deberán ser expresadas en el sistema sexagesimal. | Consistencia Lógica Consistencia de Formato |
| Los vértices de control para el proyecto deberán estar vinculados a la red geodésica del país, en fundamento con el sistema de referencia espacial MAGNA SIRGAS. | Exactitud Posicional Exactitud absoluta o externa |
| La época de cálculo para los vértices de la red reportados deberá ser concordante con la época de la captura de datos. | Exactitud Temporal Validez Temporal |

Fuente: Construcción propia. Adaptado de ISO 19113, (2002) e ISO 19114, (2003).

6.7 Definir los elementos y sub elementos de calidad pertinentes en la evaluación.

Los elementos y sub elementos de calidad, es a lo que realizamos la evaluación de calidad; por ende, una vez se cuenta con un resumen de información cuantitativa, se debe definir su pertinencia en el proceso de evaluación de calidad; de esta manera, se realiza su selección, considerando la experiencia de quien realiza la evaluación y la información cuantitativa de calidad.

Tabla 22. Ejemplo de selección elementos y sub elementos de calidad pertinentes.

| Elementos de calidad de los datos | Sub elementos de calidad de los datos | ¿Pertinente para el caso? |
|--|--|----------------------------------|
| Compleitud | Comisión | Sí |
| | Omisión | Sí |
| Consistencia Lógica | Consistencia Conceptual | No |
| | Consistencia de dominio | Sí |
| | Consistencia de formato | Sí |
| | Consistencia Topológica | SÍ |
| Exactitud Posicional | Exactitud absoluta o externa | Sí |

| | | |
|--------------------|--|----|
| | Exactitud relativa o Interna | No |
| | Exactitud posicional de datos en malla | No |
| Exactitud Temporal | Exactitud de una medida de tiempo | No |
| | Consistencia temporal | No |
| | Validez Temporal | Sí |
| Exactitud Temática | Corrección de la clasificación | No |
| | Corrección de atributo no cuantitativo | No |

Fuente: Construcción propia.

Adicionalmente, se deben considerar datos no cuantitativos, que aporten en la correcta identificación de los elementos y sub elementos de calidad, tales como el propósito de los datos, el uso que se pretende dar a la información, linaje y pasos en el proceso de registro de datos.

6.8 Realizar las Medidas básicas de calidad de los datos y el Método de evaluación.

Se conocen así, las medidas realizadas previamente al conjunto de datos de las cuales se deriva la medida de calidad de los datos. Una vez definidos los elementos y sub elementos de calidad, se deben considerar las medidas correctas de calidad de los datos que podrán ser aplicables; esto constituye una base previa al reporte final de la evaluación de la calidad de los datos. Estas medidas básicas de calidad se muestran para cada elemento y sub elemento de calidad de manera detallada en el Anexo C de la Norma internacional ISO 19138, ya que lo que se pretende es una propuesta metodológica de la evaluación de calidad; se recomienda remitirse a la norma ISO 19138, en cuanto al tipo de medidas básicas de calidad aplicables, puesto que lo anterior no hace parte del alcance del presente documento.

Tabla 23. Medidas de básicas de calidad

| Línea | Componente | Descripción |
|--------------|---------------------------------------|--|
| 1 | Nombre | Número de componentes geográficas en exceso. |
| 2 | Alias | - |
| 3 | Elemento de calidad de los datos | Compleitud |
| 4 | Sub elemento de calidad de los datos | Comisión |
| 5 | Medida básica de calidad de los datos | Conteo de error |
| 6 | Definición | Número total de ítems erróneos dentro del conjunto de datos definidos por el ámbito de la calidad de los datos |
| 7 | Descripción | Número de componentes geográficas en exceso presentes en los diferentes tipos de coordenadas. |
| 8 | Parámetro | Se permiten 4 componentes por cada punto, 3 componentes geográficos, 1 de formato. |
| 9 | Tipo de valor de calidad de datos | Entero |
| 10 | Referencia a la fuente | - |
| 11 | Ejemplo | - |
| 12 | Identificador | 1 |

Fuente: Construcción propia.

Según IGN, (2009). En cuanto al método de evaluación, existen tres Métodos de Evaluación:

- **Método directo de evaluación:** basado en el análisis de ítems o elementos dentro del conjunto de datos. Puede ser Interno cuando la evaluación se realiza con datos del mismo conjunto de datos, o Externo, cuando es necesario la utilización de un segundo conjunto de datos para realizar la evaluación.

- **Método indirecto de evaluación:** basado en el conocimiento externo. Por tanto se parte del conocimiento de otras experiencias relacionadas con el conjunto de datos a evaluar.
- **Inspección Completa:** Requiere de la comprobación de cada elemento del conjunto de datos para llevar a cabo la evaluación.

Dentro del Contexto de los levantamientos topográficos el método recomendado para la evaluación de calidad es el método directo, ya sea de tipo interno o externo.

6.9 Seleccionar el Conjunto de datos pertinentes para la evaluación de calidad.

Acorde con la medida básica definida para el elemento de calidad, cuando el método de evaluación así lo indique, en la mayoría de los casos una evaluación externa al conjunto de datos, será necesario definir una muestra representativa y realizar una medida directa, con instrumental igual o superior en especificaciones técnicas de los utilizados en el estudio, y por personal idóneo en la materia. De esta manera, se deberá seleccionar el conjunto de datos existente, objeto de este procedimiento, considerando la medida de calidad y la evaluación de calidad que se pretenda adelantar; las siguientes recomendaciones se deberán tener en cuenta:

- Definir la pertinencia del conjunto de datos, acorde con la evaluación de calidad que se pretende desarrollar.
- Establecer el método de evaluación; en los casos en que sea necesario realizar contramedidas, se clasificará como una evaluación externa al conjunto de datos.

- Determinar el Instrumental apropiado y la metodología correcta que sea procedente, en términos del elemento y sub elemento de calidad de datos.
- Establecer el tamaño apropiado de la muestra, considerando el método de evaluación aplicable.
- Revisar los resultados de las medidas realizadas y aplicar la evaluación de calidad.

6.10 Realizar la evaluación de calidad y reportarla.

En esta etapa final se definen las dos posibles situaciones de evaluación de la calidad. En la primera de ellas, los resultados de la calidad de los datos pueden ser presentados como metadatos, y se obtiene un resultado conforme/no conforme; lo anterior es de gran utilización en las evaluaciones de calidad de datos.

Una segunda posibilidad tiene lugar cuando con la evaluación de calidad se obtienen resultados agregados de la calidad de datos; en esta condición es posible acompañar la evaluación de un informe, que explique la metodología en una secuencia ordenada de eventos, así como el significado del resultado obtenido. En la evaluación de calidad de los elementos y sub elementos definidos previamente, se tiene en consideración la evaluación básica de calidad realizada en el ítem 8.8, el alcance de la medida, así como el resultado pertinente al nivel de conformidad se realiza según la norma ISO 19114.

En la Tabla 24, se establecen las medidas y componentes de calidad de datos presentes tras la evaluación, así como la manera apropiada para reportar esta información.

Tabla 24. Medidas de Calidad y Componentes de calidad de datos.

| Medidas y Componentes de calidad de datos | |
|--|---|
| DQ_Scope | Todos los elementos clasificados como vértices de primer orden, reportados en coordenadas geocéntricas o planas de Gauss-Kruger. |
| DQ_Element | Exactitud Temporal |
| DQ_Subelement | Validez Temporal |
| DQ_MeaSure | |
| DQ_MeaSureDesc | Indicador de corrección |
| DQ_MeaSureID | 7 |
| DQ_EvalMethod | |
| DQ_EvalMethodType | Interno |
| DQ_EvalMethodDesc | Para cada punto, se evalúa que la época de cálculo para los vértices de la red reportados, sean concordantes con la época de la captura de datos. |
| DQ_QualityResult | |
| DQ_ValueType | Entero |
| DQ_Value | 0 |
| DQ_ValueUnit | Invalidez Temporal |
| DQ_Date | 2015-08-18 |
| DQ_ConformanceLevel | Cero elementos pueden tener invalidez temporal |
| Parámetros del conjunto de datos | Omitido |
| Interpretación del resultado de calidad | Conjunto de datos, conforme. Ningún elemento en el conjunto de datos tiene invalidez temporal. |

Fuente: Construcción propia.

Para finalizar, es importante dejar claro que un informe de evaluación de la calidad se puede crear en cualquier otro caso; por ejemplo, para proporcionar más detalle que lo informado como metadatos; Sin embargo, un informe de evaluación de la calidad no se puede usar para intentar reemplazar los metadatos. Lo que se pretende entonces, es dejar claro el alcance que tiene la información y las fronteras que es posible cruzar con estos datos, teniendo claro el nivel de conformidad alcanzado en el estudio; de esta manera, se plantea una guía metodológica para el

desarrollo de la evaluación de calidad de un conjunto de datos levantados en campo, acorde con las normas internacionales ISO. Esperamos sea de utilidad en la valoración de la calidad de diferentes tipos de proyectos, que guarden relación directa con un conjunto de datos geográficos.

7. Evaluación de calidad proyecto Pacifico-1.

7.1 Generalidades

Colombia en los próximos años se encamina a mejorar toda su infraestructura vial, con lo que el desarrollo de nuevos macro proyectos con retos importantes para la ingeniería del país va de la mano con la complejidad de su Topografía. La conexión Pacífico de Autopistas de la Prosperidad supone una inversión total que supera los 4.06 billones de pesos, con una longitud de 369 kilómetros; las obras principales de esta concesión están enfocadas en el cambio de trazado de la vía existente, desde la población de Camilo Cé a Bolombolo, pasando por la Pintada, integrando el corredor vial con las Autopistas del Café, y por su importancia en el desarrollo de la región, fue seleccionado para la realización de la evaluación de calidad de toda la Geodesia de la conexión.

La evaluación de calidad se realiza sobre la red Autopista Conexión Pacífico 1, con una extensión de 45 kilómetros e integra los tramos Ancón Sur-Camilo Ce y Camilo Ce-Bolombolo. Para cubrir este tramo, fue necesaria la instalación por parte del contratista del estudio, de 15 parejas de mojones (30 unidades en total) a lo largo del eje vial, separadas cada tres kilómetros aproximadamente. De esta manera la red topográfica principal del proyecto, está integrada por dos tipos de Mojones: Primarios (PSPG) y Secundarios (SPG), georreferenciados por cadena de vectores, la cual es base para el ajuste de la Poligonación Planimetría y Altimétrica con Base en NP's IGAC, acorde con los informes entregados a la concesión Pacifico-1.

Como requisito técnico por parte de la Agencia Nacional de infraestructura, el documento Apéndice Técnico de especificaciones generales establece: “que el nivel de detalle de los productos geográficos generados alcancen una escala de 1:1000, para lo cual, se exige una precisión mínima de 1:10.000.

Por solicitud de Pacifico-1, se realiza la evaluación de calidad de los datos entregados por la empresa contratante, Terra Remote Sensing. Se utilizan métodos directos de evaluación, internos al conjunto de datos, y externos por muestreo, para lo cual se requiere una comprobación de algunos de los elementos de la población, para lograr un resultado representativo de la calidad de los datos.

En el proceso de evaluación de calidad de datos es necesario establecer una secuencia de pasos orientados a producir e informar el resultado de la calidad de los mismos; sin embargo, no existe bibliografía puntual, que explique en qué consiste la aplicación de estos procedimientos de evaluación de calidad a operaciones específicas de un conjunto de datos, resultado de la actividad profesional de un consultor o productor de información geográfica. De esta manera, en muchas oportunidades, el usuario de los datos no cuenta con las herramientas adecuadas para establecer el grado de conformidad de la información que está recibiendo, porque no cuenta con el conocimiento adecuado para llevar a cabo una evaluación de la calidad de su producto.

El presente documento es una guía que establece una metodología de evaluación de la calidad de los datos levantados en campo, el cual propone una secuencia de pasos en la evaluación de calidad, tomando como referencia las normas internacionales, ISO 19113 Principios de calidad, ISO 19114 Procedimientos para la Evaluación de Calidad, ISO 19115 Metadatos, e ISO 19138 Medidas de calidad de los datos.

7.2 Metadatos

En la Tabla 25, se muestra lo que puede definirse como los metadatos; es decir, los datos de los datos, los cuales ofrecen información sobre la calidad, el formato de los datos y otras características; de esta manera, considerando las recomendaciones realizadas por la norma ISO 19115, se debe tener en cuenta toda la información asociada que sea posible documentar como punto de partida en el análisis del proyecto, al que se pretenda adelantar una evaluación de la calidad.

Tabla 25. Resumen de Proyecto.

| ITEM | INFORMACIÓN ASOCIADA |
|--|---|
| Entidad contratante | Conexión vial Pacífico-1 |
| Empresa encargada del estudio | Terra Remote Sensing. |
| Norma Asociada | ISO 19115 |
| Versión de la Norma | V2003 |
| Idioma | Español |
| Resumen descriptivo | Estudio topográfico del diseño, cálculo y ajuste de la red GPS, poligonación planimétrica y altimétrica para el proyecto vial “Pacífico-1”. |
| Equipos utilizado por la empresa encargada del estudio | Equipos GPS doble frecuencia (L1+L2) Marca Leica modelo 1200. |
| Vértices de Origen | Para el desarrollo de las actividades, se partió de puntos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) bajo un sólo sistema de referencia geodésico WGS84 (GRS80) – MAGNA SIRGAS. |
| Método de captura y cálculo de datos | Posicionamiento estático, almacenamiento continuo de información satelital y post procesamiento de datos, como cálculo diferencial. |
| Modelo para obtención de las alturas | GEOCOL 2004. |
| Condiciones del amojonamiento de Puntos de la red | Fabricación en concreto, de forma trapezoidal; se identifica placa de metal marcada con nombre del consultor y numeración consecutiva. |
| Número de mojones materializados | 30 |

Fuente: Construcción propia

Una vez revisado en detalle el proyecto, se realizó una selección de los puntos objeto de la validación topográfica. Como datos fuente, se utilizaron cuatro puntos existentes de la concesión Pacífico 2, mostrados en la Tabla 26, los cuales fueron materializados y vinculados a la red

geodésica de manera previa por el mismo contratista que construyó la red topográfica Pacífico-1.

Tabla 26. Puntos de apoyo geodésico proyecto Pacífico 2.

| Coordenadas geodésicas MAGNA-SIRGAS época 2014.9 | | | | | |
|---|----------------|---|-----------------|---|-------------------|
| Punto | Latitud | | Longitud | | Altura elipsoidal |
| PR-05pac2 | 5°57'32.42353" | N | 75°50'46.57991" | W | 570,1320 |
| PR-06pac2 | 5°57'34.68788" | N | 75°50'42.17827" | W | 572,5850 |
| PR-09pac2 | 6°04'17.25883" | N | 75°37'59.05044" | W | 1819,3220 |
| PR-10pac2 | 6°04'21.57043" | N | 75°38'00.07486" | W | 1817,5510 |

Fuente: Informe estudio topográfico para el proyecto Pacífico-1.

La red principal de proyecto Pacífico-1 está conformada por cuatro vértices, que en su conjunto componen la red primaria o principal del proyecto. La Tabla 27 muestra los puntos en mención.

Tabla 27. Red Principal Pacífico-1.

| Red principal del proyecto Pacífico-1 | | | | | |
|--|----------------|---|-----------------|---|-------------------|
| Coordenadas geodésicas MAGNA-SIRGAS época 2014.9 | | | | | |
| Punto | Latitud | | Longitud | | Altura elipsoidal |
| PSPG-13 | 6°01'18.96327" | N | 75°44'34.33861" | W | 1174,8151 |
| PSPG-14 | 6°01'13.43538" | N | 75°44'30.97252" | W | 1208,6933 |
| PSPG-15 | 6°01'08.47061" | N | 75°42'11.82448" | W | 1521,0388 |
| PSPG-16 | 6°01'12.38838" | N | 75°42'09.73578" | W | 1505,3313 |

Fuente: Informe estudio topográfico para el proyecto Pacífico-1.

7.3 Resultados reportados por el contratista

El resumen de datos entregados por el contratista concerniente a la red geodésica del proyecto, se muestra en las ilustraciones 23 y 24, respectivamente.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS (WGS-84) Y PLANAS GAUSS KRÜGER (MAGNA) - Epoca_2014.9

Contrato: DETERMINACIÓN DE COORDENADAS CON GPS **DATUM:** GAUSS - MAGNA 4°35'46.3215" N
Ciente: GRUPO ICEACSA 77°04'39.0285" W
Compañía: TERRAREMOTE SENSING **ORIGEN:** Oeste-MAGNA 1,000,000 m
Proyecto: AUTOPISTA CONEXIÓN PACÍFICO I 1,000,000 m
Fecha: 28 de Noviembre de 2014 0 m.s.n.m.m.

| GEODÉSICAS MAGNA SIRGAS - Epoca_2014.9 | | | | PLANAS DE GAUSS-KRUGER - Epoca_2014.9 | | | | | | |
|--|------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|
| PUNTO | LATITUD | LONGITUD | ALTITUD ELIPSoidal | NORTE | ESTE | COTA ORTOMÉTRICA | TIPO DE NIVELACIÓN | Ondulación Geocol 2004 | COTA ORTOMÉTRICA | Ondulación EGM08 |
| PR-05pac2 | 5°57'32.42353" N | 75°50'46.57991" W | W 570.132 | 1150856.268 | 1136335.171 | 543.882 | NGeocol2004 | 26.25 | 546.330 | 23.8022 |
| PR-06pac2 | 5°57'34.68788" N | 75°50'42.17827" W | W 572.585 | 1150926.144 | 1136470.424 | 546.335 | NGeocol2004 | 26.25 | 548.787 | 23.7980 |
| PR-09pac2 | 6°04'17.25883" N | 75°37'59.05044" W | W 1819.322 | 1163353.329 | 1159914.867 | 1792.132 | NGeocol2004 | 27.19 | 1794.898 | 24.4238 |
| PR-10pac2 | 6°04'21.57043" N | 75°38'00.07486" W | W 1817.551 | 1163485.732 | 1159883.003 | 1790.361 | NGeocol2004 | 27.19 | 1793.127 | 24.4243 |
| SPG-01 | 5°58'28.87324" N | 75°49'36.59166" W | W 653.406 | 1152595.563 | 1138484.298 | 627.166 | NGeocol2004 | 26.24 | 629.638 | 23.7688 |
| SPG-02 | 5°58'37.03663" N | 75°49'37.70657" W | W 675.325 | 1152846.310 | 1138449.431 | 649.085 | NGeocol2004 | 26.24 | 651.552 | 23.7725 |
| SPG-03 | 5°59'34.72553" N | 75°49'16.28649" W | W 658.670 | 1154620.343 | 1139104.310 | 632.410 | NGeocol2004 | 26.26 | 634.876 | 23.7936 |
| SPG-04 | 5°59'38.86164" N | 75°49'11.48203" W | W 639.988 | 1154747.767 | 1139251.811 | 613.728 | NGeocol2004 | 26.26 | 616.193 | 23.7949 |
| SPG-05 | 5°59'55.74671" N | 75°47'17.47307" W | W 724.293 | 1155274.721 | 1142757.691 | 697.933 | NGeocol2004 | 26.36 | 700.456 | 23.8366 |
| SPG-06 | 5°59'52.34469" N | 75°47'15.43293" W | W 733.661 | 1155170.337 | 1142820.695 | 707.301 | NGeocol2004 | 26.36 | 709.825 | 23.8361 |
| SPG-07 | 6°00'09.75777" N | 75°46'20.72998" W | W 842.638 | 1155709.359 | 1144502.177 | 816.248 | NGeocol2004 | 26.39 | 818.755 | 23.8831 |
| SPG-08 | 6°00'14.78187" N | 75°46'17.22737" W | W 850.978 | 1155863.988 | 1144609.554 | 824.588 | NGeocol2004 | 26.39 | 827.090 | 23.8882 |
| SPG-09 | 6°01'14.74174" N | 75°46'08.84303" W | W 1051.616 | 1157706.952 | 1144863.061 | 1025.196 | NGeocol2004 | 26.42 | 1027.696 | 23.9199 |
| SPG-10 | 6°01'24.07180" N | 75°46'00.16017" W | W 1102.434 | 1157994.271 | 1145129.463 | 1075.994 | NGeocol2004 | 26.44 | 1078.504 | 23.9298 |
| SPG-11 | 6°02'14.86522" N | 75°45'10.87384" W | W 1220.746 | 1159558.638 | 1146641.744 | 1194.236 | NGeocol2004 | 26.51 | 1196.760 | 23.9861 |
| SPG-12 | 6°02'12.62608" N | 75°45'06.52246" W | W 1230.122 | 1159490.162 | 1146775.759 | 1203.622 | NGeocol2004 | 26.50 | 1206.133 | 23.9892 |
| PSPG-13 | 6°01'18.96327" N | 75°44'34.33861" W | W 1174.815 | 1157843.699 | 1147769.766 | 1148.335 | NGeocol2004 | 26.48 | 1150.817 | 23.9984 |
| PSPG-14 | 6°01'13.43538" N | 75°44'30.97252" W | W 1208.693 | 1157674.099 | 1147873.725 | 1182.213 | NGeocol2004 | 26.48 | 1184.694 | 23.9993 |
| PSPG-15 | 6°01'08.47061" N | 75°42'11.82448" W | W 1521.039 | 1157532.164 | 1152154.461 | 1494.349 | NGeocol2004 | 26.69 | 1496.925 | 24.1138 |
| PSPG-16 | 6°01'12.38838" N | 75°42'09.73578" W | W 1505.331 | 1157652.707 | 1152218.409 | 1478.631 | NGeocol2004 | 26.70 | 1481.214 | 24.1170 |
| SPG-17 | 6°01'57.72960" N | 75°41'12.94138" W | W 1511.402 | 1159050.347 | 1153961.940 | 1484.622 | NGeocol2004 | 26.78 | 1487.219 | 24.1830 |
| SPG-18 | 6°02'05.90216" N | 75°41'12.09699" W | W 1505.496 | 1159301.535 | 1153987.273 | 1478.706 | NGeocol2004 | 26.79 | 1481.309 | 24.1869 |
| SPG-19 | 6°02'43.25035" N | 75°40'33.20570" W | W 1638.420 | 1160452.219 | 1155180.647 | 1611.520 | NGeocol2004 | 26.90 | 1614.181 | 24.2388 |
| SPG-20 | 6°02'43.31532" N | 75°40'27.62428" W | W 1652.290 | 1160454.658 | 1155352.328 | 1625.380 | NGeocol2004 | 26.91 | 1628.046 | 24.2440 |
| SPG-21 | 6°03'25.83489" N | 75°38'39.22850" W | W 1932.667 | 1161769.891 | 1158683.194 | 1905.517 | NGeocol2004 | 27.15 | 1908.299 | 24.3680 |
| SPG-22 | 6°03'19.18737" N | 75°38'35.19829" W | W 1926.804 | 1161565.954 | 1158807.703 | 1899.644 | NGeocol2004 | 27.16 | 1902.435 | 24.3691 |
| SPG-23 | 6°06'00.79038" N | 75°38'04.96205" W | W 1812.364 | 1166534.175 | 1159724.535 | 1785.214 | NGeocol2004 | 27.15 | 1787.926 | 24.4383 |
| SPG-24 | 6°06'06.44561" N | 75°38'05.83900" W | W 1820.317 | 1166707.877 | 1159697.097 | 1793.167 | NGeocol2004 | 27.15 | 1795.879 | 24.4381 |
| SPG-25 | 6°06'53.67428" N | 75°37'46.81627" W | W 1781.601 | 1168160.700 | 1160278.289 | 1754.471 | NGeocol2004 | 27.13 | 1757.158 | 24.4429 |
| SPG-26 | 6°06'59.66475" N | 75°37'48.53766" W | W 1774.421 | 1168344.634 | 1160224.848 | 1747.291 | NGeocol2004 | 27.13 | 1749.980 | 24.4411 |
| SPG-27 | 6°08'22.74700" N | 75°37'55.88690" W | W 1712.317 | 1170896.994 | 1159991.933 | 1685.277 | NGeocol2004 | 27.04 | 1687.909 | 24.4085 |
| SPG-28 | 6°08'33.63822" N | 75°37'53.46797" W | W 1691.560 | 1171231.863 | 1160065.424 | 1664.530 | NGeocol2004 | 27.03 | 1667.158 | 24.4023 |
| SPG-29 | 6°09'10.56546" N | 75°37'54.33363" W | W 1648.929 | 1172366.500 | 1160035.734 | 1621.939 | NGeocol2004 | 26.99 | 1624.550 | 24.3793 |
| SPG-30 | 6°09'13.68639" N | 75°37'45.71704" W | W 1634.178 | 1172463.118 | 1160300.475 | 1607.208 | NGeocol2004 | 26.97 | 1609.803 | 24.3751 |

Ilustración 23. Resumen de información geodésica.

Fuente: Informe estudio topográfico para el proyecto Pacífico-1.

Pac-1 Satellite summary, PDOP, GDOP Time: 08:17/11/14 6°01'N 75°44'W 1100m 15° Almanac from: (

| Time | Sats. | PDOP | GDOP | Satellite Nos |
|-------|-------|------|------|-------------------------------------|
| 08.00 | 9 | 1.07 | 2.88 | 2 8 9 10 17 20 28 30 32 |
| 08.10 | 8 | 1.10 | 4.37 | 2 9 10 17 20 28 30 32 |
| 08.20 | 9 | 1.06 | 3.93 | 2 9 10 12 17 20 28 30 32 |
| 08.30 | 9 | 1.06 | 4.41 | 2 9 10 12 17 20 28 30 32 |
| 08.40 | 9 | 1.07 | 4.81 | 2 9 10 12 17 20 28 30 32 |
| 08.50 | 9 | 1.07 | 4.82 | 2 9 10 12 17 20 28 30 32 |
| 09.00 | 9 | 1.08 | 4.34 | 2 9 10 12 17 20 28 30 32 |
| 09.10 | 9 | 1.08 | 3.69 | 2 9 10 12 17 20 28 30 32 |
| 09.20 | 10 | 1.01 | 2.13 | 2 9 10 12 13 17 20 28 30 32 |
| 09.30 | 10 | 1.01 | 2.07 | 2 9 10 12 13 17 20 28 30 32 |
| 09.40 | 10 | 1.01 | 2.01 | 2 9 10 12 13 17 20 28 30 32 |
| 09.50 | 10 | 1.01 | 1.94 | 2 9 10 12 13 17 20 28 30 32 |
| 10.00 | 10 | 1.02 | 1.89 | 2 9 10 12 13 17 20 28 30 32 |
| 10.10 | 11 | 0.96 | 1.75 | 2 9 10 12 13 15 17 20 28 30 32 |
| 10.20 | 11 | 0.97 | 1.76 | 2 9 10 12 13 15 17 20 28 30 32 |
| 10.30 | 10 | 1.13 | 1.84 | 2 9 10 12 13 15 17 20 30 32 |
| 10.40 | 10 | 1.16 | 1.86 | 2 9 10 12 13 15 17 20 30 32 |
| 10.50 | 9 | 1.20 | 2.02 | 2 10 12 13 15 17 18 20 30 |
| 11.00 | 10 | 1.02 | 1.74 | 2 4 10 12 13 15 17 18 20 30 |
| 11.10 | 9 | 1.13 | 2.93 | 2 4 10 12 15 17 18 20 30 |
| 11.20 | 10 | 1.08 | 2.53 | 2 4 10 12 15 17 18 20 26 30 |
| 11.30 | 10 | 1.08 | 2.79 | 2 4 10 12 15 17 18 20 26 30 |
| 11.40 | 11 | 1.02 | 2.98 | 2 4 10 12 15 17 18 20 26 29 30 |
| 11.50 | 11 | 1.03 | 3.39 | 2 4 10 12 15 17 18 20 26 29 30 |
| 12.00 | 11 | 1.03 | 3.60 | 2 4 10 12 15 17 18 20 26 29 30 |
| 12.10 | 12 | 1.02 | 2.41 | 2 4 9 10 12 15 17 18 20 26 29 30 |
| 12.20 | 12 | 1.02 | 2.29 | 2 4 9 10 12 15 17 18 20 26 29 30 |
| 12.30 | 13 | 0.95 | 2.01 | 2 4 9 10 12 15 17 18 20 24 26 29 30 |
| 12.40 | 13 | 0.96 | 1.88 | 2 4 9 10 12 15 17 18 20 24 26 29 30 |
| 12.50 | 13 | 0.96 | 1.77 | 2 4 9 10 12 15 17 18 20 24 26 29 30 |
| 13.00 | 12 | 0.97 | 1.85 | 2 4 9 10 12 15 17 18 20 24 26 29 |
| 13.10 | 11 | 1.04 | 1.91 | 2 4 9 10 12 15 17 18 24 26 29 |
| 13.20 | 10 | 1.16 | 2.09 | 2 4 9 12 15 17 18 24 26 29 |
| 13.30 | 10 | 1.19 | 2.10 | 2 4 9 12 15 17 18 24 26 29 |
| 13.40 | 9 | 1.28 | 2.41 | 2 4 9 15 17 18 24 26 29 |
| 13.50 | 9 | 1.31 | 2.43 | 2 4 9 15 17 18 24 26 29 |
| 14.00 | 8 | 1.40 | 3.32 | 2 4 9 15 18 24 26 29 |
| 14.10 | 8 | 1.42 | 3.66 | 2 4 9 15 18 24 26 29 |
| 14.20 | 8 | 1.42 | 3.98 | 2 4 9 15 18 24 26 29 |
| 14.30 | 9 | 1.15 | 2.35 | 2 4 9 14 15 18 24 26 29 |
| 14.40 | 9 | 1.15 | 2.42 | 2 4 9 14 15 18 24 26 29 |
| 14.50 | 9 | 1.15 | 2.46 | 2 4 9 14 15 18 24 26 29 |
| 15.00 | 9 | 1.15 | 2.46 | 2 4 9 14 15 18 24 26 29 |
| 15.10 | 9 | 1.15 | 2.39 | 2 4 9 14 15 18 24 26 29 |
| 15.20 | 9 | 1.14 | 2.29 | 2 4 9 14 15 18 24 26 29 |
| 15.30 | 8 | 1.19 | 2.67 | 2 4 9 14 18 24 26 29 |
| 15.40 | 7 | 1.44 | 4.76 | 4 9 14 18 24 26 29 |
| 15.50 | 8 | 1.37 | 2.85 | 4 9 14 18 24 26 27 29 |
| 16.00 | 8 | 1.34 | 2.79 | 4 9 14 18 24 26 27 29 |
| 16.10 | 8 | 1.31 | 2.71 | 4 9 14 18 24 26 27 29 |
| 16.20 | 8 | 1.28 | 2.62 | 4 9 14 18 24 26 27 29 |
| 16.30 | 7 | 1.29 | 3.02 | 4 9 14 18 24 27 29 |
| 16.40 | 7 | 1.26 | 2.93 | 4 9 14 18 24 27 29 |
| 16.50 | 8 | 1.10 | 2.30 | 4 9 14 18 22 24 27 29 |
| 17.00 | 7 | 1.16 | 4.18 | 4 9 14 18 22 24 27 |
| 17.10 | 7 | 1.16 | 4.05 | 4 9 14 18 22 24 27 |
| 17.20 | 6 | 1.36 | 3.92 | 4 14 18 22 24 27 |
| 17.30 | 6 | 1.38 | 3.59 | 4 14 18 22 24 27 |
| 17.40 | 6 | 1.41 | 3.30 | 4 14 18 22 24 27 |
| 17.50 | 7 | 1.29 | 2.48 | 4 14 16 18 22 24 27 |
| 18.00 | 7 | 1.30 | 2.37 | 14 16 18 21 22 24 27 |

Ilustración 24. Satélites disponibles para la obra Pacífico-1.
Fuente: Informe estudio topográfico para el proyecto Pacífico-1.

7.4 Especificaciones técnicas asociadas con el estudio

Las especificaciones técnicas que regulan las actividades de consultoría y levantamiento de datos en campo están incluidas en el apéndice Técnico 3 “Especificaciones generales”, definido por el Ministerio de Transporte y la agencia Nacional de Infraestructura, bajo el contrato de concesión APP N° 007 de 2014, dado entre el concedente (Agencia Nacional de Infraestructura) y el concesionario vial del Pacífico-COVIPACIFICO S.A.S.

Consideraciones para el estudio de Topografía - parámetros mínimos a cumplir:

- El informe final de los Estudios de Topografía debe contener como mínimo, una red de puntos (portales y brocales) amarrada al sistema nacional de coordenadas.
- La información final debe estar soportada sobre información que posea el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y como producto final esperado, como mínimo se entregarán las carteras de campo, donde se haya consignado toda la información topográfica, planos de Topografía a escala 1:1000 para planimetría y 1:100 para altimetría.
- Planta - perfil de construcción a escalas H: 1:2000 y V: 1:200 con el alineamiento y vertical del túnel, los elementos de curvatura, ancho de calzada, andenes, nichos, localización de obras de drenaje y otros. Corresponde a los planos en planta en los que se identifican los linderos prediales, vías, corrientes de agua, sitios de interés y otros detalles relacionados con los predios y su entorno; sobre éstos se localiza el eje de la vía, con los elementos geométricos en planta, el abscisado del proyecto y el ancho de vía requerido. La escala de este plano debe ser 1:500, 1:1000 o 1:2000, según se requiera por el tamaño de las áreas comprometidas. Estos planos deberán entregarse mensual y debidamente actualizados, en formato dwg (Auto Cad) y PDF (Acrobat). La Tira Topográfica debe mostrar, con las debidas convenciones, el estado de avance de la adquisición en cada uno de los predios.

7.4.1 Requisitos definidos por el concesionario.

A partir de las especificaciones técnicas asociadas al estudio, registradas en el ítem 7.4 de este documento, se establecieron los criterios de mayor precisión asociados con el producto final esperado.

- **Conjunto de datos:** Vértices Principales, secundarios de la red de apoyo topográfico para el proyecto Pacífico-1.
- **Especificación del producto:**
 - Asignación de coordenadas vinculadas en fundamento al sistema de referencia por coordenadas, MAGNA SIRGAS WKID 4686AUTHORITYEPSG.
 - Tiempos mínimos de observación para los vértices de control de la red obtenidos con técnicas GNSS, de 15 minutos de estabilización y 5 minutos de observación, por cada kilómetro de distancia a la estación IGAC de referencia más cercana.
- **Descripción de producto:** La red de control topográfico para el proyecto Pacífico deberá ser ajustada con precisiones de cierre lineales superiores a 1:100.000, en relación con su precisión horizontal, de manera que las actividades de construcción, replanteo y control de las diferentes obras presentes, como viaductos, túneles y puentes, entre otras, puedan desarrollarse sin ningún problema.

7.5 Recursos necesarios para la evaluación de calidad

La toma de datos para la evaluación de calidad requiere una combinación adecuada entre las herramientas tecnológicas empleadas en la captura de datos, las cuales deberán igualar o superar las especificaciones de los equipos utilizados inicialmente, y el personal que se destine deberá tener conocimiento relacionado con el producto final.

7.5.1 Recurso Tecnológico

Para la toma de la información se utilizaron equipos GNSS doble frecuencia X91+; las especificaciones de los equipos se muestra a continuación:

| GNSS Characteristics | |
|-------------------------------------|---|
| 220 channels | GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5 |
| | GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3 |
| | SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS |
| | Galileo: E1, E5A, E5B (test) |
| | Beidou: B1, B2(optional) |
| Advanced multipath mitigation | |
| Low noise carrier phase measurement | |
| Performance Specifications (1) | |
| Real Time Kinematics (RTK) | Horizontal: 8mm+1ppm |
| | Vertical: 15mm+1ppm RMS |
| | Initialization time: typically <10s |
| | Initialization reliability: typically >99.9% |
| Post Processing Static | Horizontal: 3mm+0.5ppm RMS |
| | Vertical: 5mm+0.5ppm RMS |
| | Baseline Length: ≤300km |
| With SBAS | <1 m RMS |
| Communications | |
| 1 RS232 serial port | |
| 1 high-speed USB | |
| Integrated GSM/GPRS modem | |
| Integrated Bluetooth ® class 2 | |
| CHC Radio modem internal Rx | 430-450 / 450-470 MHz |
| Optional radio modem (2) | External Tx DL5: 1W-20W adjustable |
| | Internal Rx/Tx: 403-473 MHz |
| | Power: 1 WATT |
| Protocols | RTCM2.1, RTCM2.3, RTCM3.0, CMR, CMR+ input and output |
| | NMEA0183 outputs |
| | RINEX and HCN outputs for GNSS raw data |
| Data Storage | 4 GB internal memory |
| | GPS device mounts as a USB external hard drive |

Ilustración 25. Especificaciones técnicas de los equipos utilizados.

Fuente: Tomado de CHC NAV <http://www.chcnave.com>

7.5.2 Recurso Humano

Para el desarrollo de la actividad, fue necesario equipos de trabajo de Topografía; integrados por topógrafo y profesional del área de las Ciencias de la Tierra y auxiliares experimentados, con experiencia en Georreferenciación. La información que acredita la idoneidad del recurso humano es mostrada a continuación.



Ilustración 26. Idoneidad del Recurso Humano.

Fuente: Construcción propia.

7.6 Metodología de evaluación de calidad

Para desarrollar la evaluación de calidad se tiene en cuenta la metodología propuesta en el capítulo 6, “Propuesta metodológica para la evaluación de calidad aplicada a los levantamientos topográficos”. La metodología propuesta se desarrolló considerando las normas ISO 19113, ISO 19114, ISO 19115 e ISO 19138, y es una alternativa válida en lo que hace referencia a la evaluación de calidad de un conjunto de datos levantados en campo.

7.7 Resumen de información cuantitativa pertinente de calidad

Para definir los elementos y sub elementos de calidad, es recomendable relacionar las características principales de la información a ser evaluada, con párrafos referentes a la especificación del producto, y de

esta manera documentar correctamente la pertinencia de un elemento y sub elemento de calidad. La Tabla 28 hace referencia a los párrafos relevantes a la especificación de producto para documentar la aplicabilidad.

Tabla 28. Información cuantitativa pertinente a la calidad.

| Párrafos relevantes de la especificación de producto para documentar la aplicabilidad | Elemento y sub elemento de calidad de datos aplicables |
|---|---|
| Exceso de componentes geográficas asociadas a cada punto; cada vértice podrá ser expresado en tres tipos de coordenadas diferentes; cada tipo a su vez, con los elementos necesarios para su localización e identificación. | Compleitud Comisión |
| Instalación de puntos GPS a lo largo del corredor, con intervalos máximos de distancia entre puntos, de 3 kilómetros. | Compleitud Omisión |
| Todos los circuitos de cierre o poligonales cerradas deberán tener una razón o grado de precisión superior a 1:100.000. | Consistencia Lógica Consistencia topológica |
| Todos los vértices o puntos de control del proyecto deberán ser calculados y reportados en el sistema de referencia espacial MAGNA SIRGAS. | Consistencia Lógica Consistencia de dominio |
| Las componentes de vértices principales deberán ser expresadas en coordenadas geocéntricas para el correcto cálculo de épocas, y en metros, al igual que para el sistema proyectado, como lo son las coordenadas Planas de Gauss Kruger. Las coordenadas elipsoidales deberán ser expresadas en el sistema sexagesimal. | Consistencia Lógica Consistencia de Formato |
| Los vértices de control para el proyecto deberán estar vinculados a la red geodésica del país en fundamento con el sistema de referencia espacial MAGNA SIRGAS. | Exactitud Posicional Exactitud absoluta o externa |
| La época de cálculo para los vértices de la red reportados deberá ser concordante con la época de la captura de datos. | Exactitud Temporal Validez Temporal |

Fuente: Construcción propia.

7.8 Elementos y sub elementos de calidad pertinentes

Acorde con el cuadro resumen de información cuantitativa, es necesario establecer los elementos y sub elementos pertinentes para su evaluación en el conjunto de datos objeto de estudio. La Tabla 29 relaciona tanto los elementos, como los sub elementos de calidad que se pueden definir y su respectiva pertinencia asociada con el conjunto de datos.

Tabla 29. Elementos y Sub elementos de calidad.

| Elementos de calidad de los datos | Sub elementos de calidad de los datos | ¿Pertinente para el caso? |
|-----------------------------------|--|---------------------------|
| Compleitud | Comisión | Sí |
| | Omisión | Sí |
| Consistencia Lógica | Consistencia Conceptual | No |
| | Consistencia de dominio | Sí |
| | Consistencia de formato | Sí |
| | Consistencia Topológica | SÍ |
| Exactitud Posicional | Exactitud absoluta o externa | Sí |
| | Exactitud relativa o Interna | No |
| | Exactitud posicional de datos en malla | No |
| Exactitud Temporal | Exactitud de una medida de tiempo | No |
| | Consistencia temporal | No |
| | Validez Temporal | Sí |
| Exactitud Temática | Corrección de la clasificación | No |
| | Corrección de atributo no cuantitativo | No |

Fuente: Tomado de la norma ISO 19114.

Adicionalmente, se muestra una recopilación de la información no cuantitativa sobre la calidad, previa a su evaluación, la cual fue adaptada de la norma ISO 19114:

- **Propósito:** El conjunto de datos sobre el Informe estudio topográfico del diseño, cálculo y ajuste de la red GPS, poligonación planimétrica y altimétrica para el proyecto vial “Pacífico-1”, está destinado a apoyar la ejecución de la obra y de actividades de planificación y control, siendo columna vertebral para el desarrollo del mismo.
- **Uso:** La información ha sido utilizada, como apoyo terrestre para actividades de levantamiento **Lidar**, del corredor objeto de estudio y a futuro para toda actividad o proceso constructivo que involucra la obra.
- **Linaje:** Estaciones permanentes de control del IGAC, vértices pasivos pertenecientes a la red geodésica del país, en sistema de referencia espacial MAGNA SIRGAS.
- **Pasos del proceso:**
 - Recorrido y reconocimiento del eje vial a georreferenciar con equipos GPS (Sistema de Posicionamiento Global) tipo navegador, para evaluar el área de influencia y estimar el alcance y rendimiento aproximados.
 - Instalación de los puntos GPS cada tres kilómetros aproximadamente, cumpliendo con las mejores condiciones en terreno.
 - Amarre de la red GPS a la red local.
 - Verificación y posicionamiento de los puntos GPS instalados, generando una cadena de vectores.
 - Digitalización y ajuste de los datos de campo.
 - Informe técnico.
 - Amojonamiento de poligonales en terreno.
 - Itinerario planimétrico con estación total con colector de datos digital interno.

- Amojonamiento de BM's.
- Itinerario altimétrico con nivel de precisión y colector de datos digital.
- Digitalización y ajuste de los datos de campo.
- Digitalización y dibujo de los tramos levantados.

7.9 Medidas básicas de calidad de los datos

Según la norma ISO 19114, (2003), se conoce así las medidas realizadas previamente al conjunto de datos de la cual se deriva la medida de calidad. Una vez definidos los elementos y sub elementos de calidad, en el presente numeral se muestra una lista inicial de medidas de calidad de los datos; dicha lista constituye una base previa al reporte final de la evaluación de la calidad de los datos. Las medidas básicas de calidad se utilizarán, para crear nuevas medidas de calidad de los datos cuando sea necesario.

Con base en la revisión de pertinencia de los elementos que deben evaluarse, se definen las medidas básicas de calidad en la Tablas 30 a 36, las cuales incluyen los componentes necesarios para la evaluación básica, todo lo anterior considerando la estructura de la Norma ISO 19138.

Compleitud/ comisión

La Tabla 30 resume las medidas básicas de calidad para el conjunto de datos, perteneciente al elemento completitud, y el sub elemento medible, comisión. La comisión hace referencia a la información excedente, presente en un conjunto de datos.

Tabla 30. Medida básica de elementos de calidad referentes a la Compleitud.

| Línea | Componente | Descripción |
|--------------|---------------------------------------|--|
| 1 | Nombre | Número de componentes geográficas en exceso, en cada uno de los vértices de la red de control. |
| 2 | Alias | - |
| 3 | Elemento de calidad de los datos | Compleitud |
| 4 | Sub elemento de calidad de los datos | Comisión |
| 5 | Medida básica de calidad de los datos | Conteo de error |
| 6 | Definición | Número total de ítems erróneos dentro del conjunto de datos definidos por el ámbito de la calidad de los datos |
| 7 | Descripción | Número de componentes geográficas en exceso, presentes en los diferentes tipos de coordenadas. |
| 8 | Parámetro | Se permiten 4 componentes por cada punto, 3 componentes geográficos, 1 uno de formato. |
| 9 | Tipo de valor de calidad de datos | Entero |
| 10 | Referencia a la fuente | - |
| 11 | Ejemplo | - |
| 12 | Identificador | 1 |

Fuente: Adaptado de la Norma ISO 19114, (2003).

Compleitud/ omisión

La Tabla 31 resume las medidas básicas de calidad para el conjunto de datos, referente al elemento completitud y el sub elemento medible, omisión. La omisión hace referencia a la información ausente de un conjunto de datos.

Tabla 31. Medida básica de elementos de calidad referentes a la Completitud.

| Línea | Componente | Descripción |
|--------------|---------------------------------------|--|
| 1 | Nombre | Número de parejas de vértices necesarios a lo largo de la red para estar dentro de la especificación de distancia entre parejas. |
| 2 | Alias | - |
| 3 | Elemento de calidad de los datos | Compleitud |
| 4 | Sub elemento de calidad de los datos | Omisión |
| 5 | Medida básica de calidad de los datos | Conteo de error |
| 6 | Definición | Número total de ítems erróneos o faltantes dentro del conjunto de datos, definidos por el ámbito de la calidad de los datos. |
| 7 | Descripción | Instalación de puntos GPS a lo largo del corredor, con intervalos máximos de distancia entre puntos, de 3 kilómetros. |
| 8 | Parámetro | La distancia entre puntos de la red de control topográfica no deberá exceder tres kilómetros entre vértice. |
| 9 | Tipo de valor de calidad de datos | Entero |
| 10 | Referencia a la fuente | - |
| 11 | Ejemplo | - |
| 12 | Identificador | 2 |

Fuente: Adaptado de la Norma ISO 19114, (2003).

Consistencia lógica/ consistencia topológica

La Tabla 32 resume las medidas básicas de calidad para el conjunto de datos concerniente al elemento consistencia lógica, y el sub elemento medible, consistencia topológica. La consistencia topológica hace referencia a la corrección de las características topológicas; es decir, a las correcciones asociadas con las propiedades y características, que en términos de su geometría, deberían cumplir los datos objeto de la evaluación de calidad.

Tabla 32. Medida básica de elementos de calidad referentes a la Consistencia Lógica.

| Línea | Componente | Descripción |
|--------------|---------------------------------------|--|
| 1 | Nombre | Número de triángulos de la red que no cumplen con un grado de precisión superior a 1:100.000, asociado con el error cierre lineal. |
| 2 | Alias | - |
| 3 | Elemento de calidad de los datos | Consistencia Lógica |
| 4 | Sub elemento de calidad de los datos | Consistencia Topológica |
| 5 | Medida básica de calidad de los datos | Conteo de error |
| 6 | Definición | Número total de circuitos de cierre que no cumplen la razón de calidad o error de cierre admisible |
| 7 | Descripción | Todos los circuitos de cierre o poligonales cerradas deberán tener una razón o grado de precisión superior a 1:100.000. |
| 8 | Parámetro | - |
| 9 | Tipo de valor de calidad de datos | Entero |
| 10 | Referencia a la fuente | - |
| 11 | Ejemplo | - |
| 12 | Identificador | 3 |

Fuente: Adaptado de la Norma ISO 19114, (2003).

Consistencia Lógica/consistencia de dominio

La Tabla 33 resume las medidas básicas de calidad para el conjunto de datos concerniente al elemento consistencia lógica, y el sub elemento medible, consistencia de dominio. La consistencia de dominio es la adherencia de los valores a su dominio.

Tabla 33. Medida básica de elementos de calidad referentes a la Consistencia Lógica.

| Línea | Componente | Descripción |
|-------|---------------------------------------|---|
| 1 | Nombre | Número de ítems que no cumple con el dominio de valores |
| 2 | Alias | - |
| 3 | Elemento de calidad de los datos | Consistencia Lógica |
| 4 | Sub elemento de calidad de los datos | Consistencia de dominio |
| 5 | Medida básica de calidad de los datos | Conteo de error |
| 6 | Definición | |
| 7 | Descripción | Todos los vértices o puntos de control del proyecto deberán ser calculados y reportados en el sistema de referencia espacial MAGNA SIRGAS, en coordenadas planas de Gauss Kruger, considerando el origen cartesiano gobernado por la latitud del punto. |
| 8 | Parámetro | - |
| 9 | Tipo de valor de calidad de datos | Entero |
| 10 | Referencia a la fuente | - |
| 11 | Ejemplo | - |
| 12 | Identificador | 4 |

Fuente: Adaptado de la Norma ISO 19114, (2003).

Consistencia Lógica/consistencia de formato

La Tabla 34 resume las medidas básicas de calidad para el conjunto de datos concerniente a la consistencia lógica y el sub elemento consistencia de formato. La consistencia de formato hace referencia al grado en que los datos se almacenan, de acuerdo con la estructura física del conjunto de datos.

Tabla 34. Medida básica de elementos de calidad referentes a la consistencia lógica.

| Línea | Componente | Descripción |
|-------|---------------------------------------|---|
| 1 | Nombre | Porcentaje de Ítems almacenados que cumplen con la estructura física del conjunto de datos |
| 2 | Alias | - |
| 3 | Elemento de calidad de los datos | Consistencia Lógica |
| 4 | Sub elemento de calidad de los datos | Consistencia de Formato |
| 5 | Medida básica de calidad de los datos | Conteo de error |
| 6 | Definición | |
| 7 | Descripción | Las componentes de vértices principales deberán ser expresadas en coordenadas geocéntricas para el correcto cálculo de épocas, y en metros, al igual que para el sistema proyectado, como lo son las coordenadas Planas de Gauss Kruger. Las coordenadas elipsoidales deberán ser expresadas en el sistema sexagesimal. |
| 8 | Parámetro | - |
| 9 | Tipo de valor de calidad de datos | Porcentaje |
| 10 | Referencia a la fuente | - |
| 11 | Ejemplo | - |
| 12 | Identificador | 5 |

Fuente: Adaptado de la Norma ISO 19114

Exactitud Posicional/exactitud absoluta o externa

La Tabla 35 resume las medidas básicas de calidad para el conjunto de datos concerniente al elemento exactitud posicional y el sub elemento medible, exactitud absoluta o externa. La exactitud absoluta o externa, hace referencia a la proximidad entre los valores de coordenadas reportados y los valores verdaderos o aceptados como verdaderos.

Tabla 35. Medida básica de elementos de calidad referentes a la Exactitud Posicional.

| Línea | Componente | Descripción |
|-------|---------------------------------------|---|
| 1 | Nombre | Raíz del error cuadrático medio de la planimetría |
| 2 | Alias | RMSEP |
| 3 | Elemento de calidad de los datos | Exactitud Posicional |
| 4 | Sub elemento de calidad de los datos | Exactitud absoluta o externa |
| 5 | Medida básica de calidad de los datos | No aplicable |
| 6 | Definición | Radio del círculo alrededor del punto dado, en el cual el valor verdadero puede encontrarse. |
| 7 | Descripción | <p>Los vértices de control para el proyecto deberán estar vinculados a la red geodésica del país en fundamento con en el sistema de referencia espacial MAGNA SIRGAS, considerando la norma NTC 5204 Precisión de las Redes Geodésicas, dentro de los parámetros del RMSEP.</p> <p>Los valores verdaderos de las coordenadas observadas son conocidos como X_t y Y_t. El estimador, es:</p> $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{mi} - X_t)^2 + (Y_{mi} - Y_t)^2}$ <p>Da al error cuadrático medio de la raíz lineal RMSEP.</p> |
| 8 | Parámetro | |

| | | |
|----|-----------------------------------|----------|
| 9 | Tipo de valor de calidad de datos | Medida |
| 10 | Referencia a la fuente | - |
| 11 | Ejemplo | - |
| 12 | Identificador | 6 |

Fuente: Adaptado de la Norma ISO 19114, (2003).

Acorde con la medida básica de calidad asociada al sub elemento de calidad exactitud absoluta o externa, es necesario un método de evaluación externo, lo que hace necesario definir una muestra dentro del conjunto de datos, con el fin de realizar una medida para la evaluación de calidad.

Exactitud temporal/validez temporal

La Tabla 36 resume las medidas básicas de calidad para el conjunto de datos concerniente al elemento exactitud temporal y al sub elemento medible validez temporal.

Tabla 36. Medida básica de elementos de calidad referentes a la Exactitud Temporal

| Línea | Componente | Descripción |
|--------------|---------------------------------------|---|
| 1 | Nombre | Cumple con el dominio de valores |
| 2 | Alias | - |
| 3 | Elemento de calidad de los datos | Exactitud Temporal |
| 4 | Sub elemento de calidad de los datos | Validez Temporal |
| 5 | Medida básica de calidad de los datos | Conteo de errores |
| 6 | Definición | Número total de elementos erróneos en el conjunto de datos, definidos por el ámbito de calidad de los datos |
| 7 | Descripción | Conteo de todos los ítems en el conjunto de datos que no cumplen con su dominio de valores |
| 8 | Parámetro | |
| 9 | Tipo de valor de calidad de datos | Entero |
| 10 | Referencia a la fuente | - |
| 11 | Ejemplo | - |
| 12 | Identificador | 7 |

Fuente: Adaptado de la Norma ISO 19114, (2003).

7.10 Datos seleccionados en la evaluación externa de calidad

Acorde con la medida básica definida para el elemento exactitud posicional, con sub elemento exactitud absoluta o externa, cuyo ID de identificación dentro de la evaluación de calidad es el número 6, se definieron los siguientes puntos, los cuales hacen parte de la red geodésica materializada por el contratista y hacen parte del conjunto de datos objeto de la evaluación de calidad.

- PSPG 15
- PSPG14
- D10-8
- SPG07
- PR5

De acuerdo con el documento suministrado por el contratista “Reporte GPS Pacífico-1-V1”, se define como apoyo geodésico, dos estaciones permanentes de control, las cuales se encuentran vinculadas al cálculo de la red entregada por el contratista, e indica lo siguiente:

“El apoyo geodésico está basado en un vértice de control GPS - base permanente para control horizontal red MAGNA-ECO: MEDE; esta última no entra en el ajuste, debido a que los Rinex no superan el 60% datos de doble frecuencia y sólo grabaron L1. Para dar solución a este caso, nos apoyamos como base en los PR-01pac2 y PR-02pac2, que pertenecen a la red GPS de la concesión Pacífico-2, esto genera confianza de ajuste con los diseños de la concesión vecina.”

```
Week 1802: SIRGAS solution aligned to IGb08 (wrt igs14P1802) 18-AUG-14 15:59
-----
LOCAL GEODETIC DATUM: IGb08                      EPOCH: 2014-07-23 12:00:00

NUM  STATION NAME      X (M)      Y (M)      Z (M)      FLAG
-----
378  MEDE 41921S001    1579608.47329 -6142783.85664  684352.43830  A
492  PERA 41905S001    1571418.68560 -6160208.40380  529446.54650  A
532  QUIB 41926S001    1464760.42101 -6175537.22758  629220.91912  A
```

Ilustración 27. Coordenadas Geocéntricas Estaciones de referencia.

Fuente: SIRGAS, 2015.

De esta manera, el cálculo realizado en la validación de la información estará en la misma época del cálculo de la red, entregado por el contratista. Se consideran además efemérides precisas para las constelaciones NAVSTAR (GPS) Y GLONASS en el procesamiento de los datos.

7.10.1 Resultados de las medidas realizadas a cada vértice.

Se muestra a continuación el resumen de coordenadas obtenidas para cada punto seleccionado, el cual será definido en el método de evaluación de calidad como externo. De esta manera, para cada vértice se muestra una Tabla, en color rojo los datos reportados por el contratista, en color negro los datos de la medición; a su vez, los cálculos se realizan en dos tipos de software diferentes; el primero de ellos, el mismo que utilizó el contratista, y el segundo, otro software diferente, con otro motor de cálculo, para obtener una media en el resultado.

- Datos reportados por la empresa contratista.
- Datos de comparación.
- Coordenadas promediadas.

Tabla 37. Análisis de datos para el vértice PSPG 15

| GEODÉSICAS MAGNA SIRGAS - Época 2014.9 | | | | PLANAS DE GAUSS-KRUGER - Época 2014.9 | | | | |
|--|------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|
| PUNTO | LATITUD | LONGITUD | ALTITUD ELIPSOIDAL | NORTE | ESTE | COTA ORTOMÉTRICA | TIPO DE NIVELACIÓN | Ondulación Geocol 2004 |
| PSPG-15 | 6°01'08.47061"N | 75°42'11.82448" | 1521.0388 | 1157532.164 | 1152154.461 | 1494.349 | NGeocol2004 | 26.69 |
| DATOS FUENTE VALIDACIÓN LEICA Geo Office | | | | | | | | |
| PSPG-15 | 6°01'08.47070"N | 75°42'11.82394"W | 1520.934 | | | | | |
| DATOS FUENTE VALIDACIÓN TOPCON TOOLS | | | | | | | | |
| PSPG-15 | 6°01'08.47041"N | 75°42'11.82405"W | 1521.141 | | | | | |
| <u>PSPG-15</u> | <u>6°01'08.47041"N</u> | <u>75°42'11.82399"W</u> | <u>1521.038</u> | <u>1157532.157</u> | <u>1152154.476</u> | <u>1494.348</u> | <u>NGeocol2004</u> | <u>26.69</u> |
| DIFERENCIAS | | | | 0.007 | -0.015 | 0.001 | | |

Fuente construcción propia

Tabla 38. Análisis de datos para el vértice PR5

| GEODÉSICAS MAGNA SIRGAS - Época 2014.9 | | | | PLANAS DE GAUSS-KRUGER - Época 2014.9 | | | | |
|--|------------------------|-------------------------|----------------|---------------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------------|
| PUNTO | LATITUD | LONGITUD | ALTITUD | NORTE | ESTE | COTA ORTOMÉTRICA | TIPO DE NIVELACIÓN | Ondulación Geocol 2004 |
| | | | ELIPSOIDAL | | | | | |
| PR-05 | 5°57'32.42353"N | 75°50'46.57991"W | 570.132 | 1150856,268 | 1136335,171 | 543,882 | NGeocol2004 | 26,25 |
| DATOS FUENTE VALIDACIÓN LEICA Geo Office | | | | | | | | |
| PR-05 | 5°57'32.42387"N | 75°50'46.57949"W | 570.046 | | | | | |
| DATOS FUENTE VALIDACIÓN TOPCON TOOLS | | | | | | | | |
| PR-05 | 5°57'32.42355"N | 75°50'46.57954"W | 570.240 | | | | | |
| <u>PR-05</u> | <u>5°57'32.42371"N</u> | <u>75°50'46.57952"W</u> | <u>570.143</u> | <u>1150856.274</u> | <u>1136335.183</u> | <u>543.893</u> | <u>NGeocol2004</u> | <u>26.25</u> |
| DIFERENCIAS | | | | -0.006 | -0.012 | -0.011 | | |

Fuente construcción propia

Tabla 39. Análisis de datos para el vértice SPG07

| GEODÉSICAS MAGNA SIRGAS - Época 2014.9 | | | | PLANAS DE GAUSS-KRUGER - Época 2014.9 | | | | |
|--|------------------------|-------------------------|----------------|---------------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------------|
| PUNTO | LATITUD | LONGITUD | ALTITUD | NORTE | ESTE | COTA ORTOMÉTRICA | TIPO DE NIVELACIÓN | Ondulación Geocol 2004 |
| | | | ELIPSOIDAL | | | | | |
| SPG-07 | 6°00'09.75777"N | 75°46'20.72998"W | 842,638 | 1155709,359 | 1144502,177 | 816,248 | NGeocol2004 | 26,39 |
| DATOS FUENTE VALIDACIÓN TOPCON TOOLS | | | | | | | | |
| <u>SPG-07</u> | <u>6°00'09.75813"N</u> | <u>75°46'20.72947"W</u> | <u>842,525</u> | <u>1155709.370</u> | <u>1144502.192</u> | <u>815.735</u> | <u>NGeocol2004</u> | <u>26.39</u> |
| DIFERENCIAS | | | | -0.011 | -0.015 | 0.5013 | | |

Fuente construcción propia

Tabla 40. Análisis de datos para el vértice D10-8

| GEODÉSICAS MAGNA SIRGAS - Época 2014.9 | | | | PLANAS DE GAUSS-KRUGER - Época 2014.9 | | | | |
|--|-----------------|------------------|------------|---------------------------------------|-------------|------------------|--------------------|------------------------|
| PUNTO | LATITUD | LONGITUD | ALTITUD | NORTE | ESTE | COTA ORTOMÉTRICA | TIPO DE NIVELACIÓN | Ondulación Geocol 2004 |
| | | | ELIPSOIDAL | | | | | |
| D10-8 | NA | NA | NA | 1160429,466 | 1156492,795 | 1697,786 | NA | 26,39 |
| DATOS FUENTE VALIDACIÓN TOPCON TOOLS | | | | | | | | |
| SPG-07 | 6°02'42,40005"N | 75°39'50,55101"W | 1722,674 | 1160429,486 | 1156492,790 | 1695.624 | NGeocol2004 | 27.05 |
| DIFERENCIAS | | | | -0.020 | -0.005 | 2.162 | | |

Fuente construcción propia

Observación: El vértice D10-8 fue calculado con el modelo Geocol 2004; sin embargo, la cota reportada por el contratista fue obtenida por métodos tradicionales, como la nivelación de precisión.

Tabla 41. Análisis de datos para el vértice PSPG 14

| GEODÉSICAS MAGNA SIRGAS - Época 2014.9 | | | | PLANAS DE GAUSS-KRUGER - Época 2014.9 | | | | |
|--|------------------------|-------------------------|-----------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|
| PUNTO | LATITUD | LONGITUD | ALTITUD | NORTE | ESTE | COTA ORTOMÉTRICA | TIPO DE NIVELACIÓN | Ondulación Geocol 2004 |
| | | | ELIPSOIDAL | | | | | |
| PSPG-14 | 6°01'13.43538"N | 75°44'30.97252"W | 1208,693 | 1157674,099 | 1147873,725 | 1182,213 | NGeocol2004 | 26,48 |
| DATOS FUENTE VALIDACIÓN TOPCON TOOLS | | | | | | | | |
| <u>PSPG-14</u> | <u>6°01'13.43579"N</u> | <u>75°44'30.97246"W</u> | <u>1209,405</u> | <u>1157674,111</u> | <u>1147873,727</u> | <u>1182,925</u> | <u>NGeocol2004</u> | <u>26,48</u> |
| DIFERENCIAS | | | | -0.012 | -0.002 | -0.712 | | |

Fuente construcción propia

7.10.2 Reporte de evaluación de calidad de los datos

En este capítulo se realiza el reporte de la evaluación de calidad de los elementos y sub elementos definidos previamente. Se tiene en consideración la evaluación básica de calidad realizada en el capítulo 11, el alcance de la medida, así como el resultado concerniente al nivel de conformidad; se realiza teniendo en cuenta las recomendaciones de la norma ISO 19114.

Tabla 42. Evaluación de calidad referente a la Completitud.

| Medidas y Componentes de calidad de datos | |
|--|---|
| DQ_Scope | Todos los vértices de primer orden de la red de control topográfico del proyecto Pacífico-1. |
| DQ_Element | Completitud |
| DQ_Subelement | Comisión |
| DQ_MeaSure | |
| DQ_MeaSureDesc | Número de comisiones |
| DQ_MeaSureID | 1 |
| DQ_EvalMethod | |
| DQ_EvalMethodType | Interno |
| DQ_EvalMethodDesc | Número de componentes geográficas en exceso presentes en los diferentes tipos de coordenadas asociado a cada vértice de la red principal de primer orden. |
| DQ_QualityResult | |
| DQ_ValueType | Entero |
| DQ_Value | 0 |
| DQ_ValueUnit | Comisiones en componentes geográficas de los vértices de primer orden. |
| DQ_Date | 2015-07-31 |
| DQ_ConformanceLevel | Menos del 10% de comisiones en el conjunto de datos. |
| Parámetros del conjunto de datos | 30 vértices pertenecientes a la poligonal principal de control están dentro del ámbito de la calidad de datos; el 100% de los elementos del universo de discurso están dentro del ámbito. |
| Interpretación del resultado de calidad | El conjunto de datos es conforme . El número de elementos en exceso en el conjunto de datos no excede el nivel de conformidad de la calidad de los datos. |

Fuente: Modificado de ISO 19114, (2003).

Tabla 43. Evaluación de calidad referente a la Completitud.

| Medidas y Componentes de calidad de datos | |
|--|---|
| DQ_Scope | Todos los vértices de primer orden de la red de control topográfico del proyecto Pacifico-1. |
| DQ_Element | Completitud |
| DQ_Subelement | Omisión |
| DQ_MeaSure | |
| DQ_MeaSureDesc | Número de omisiones |
| DQ_MeaSureID | 2 |
| DQ_EvalMethod | |
| DQ_EvalMethodType | Interno |
| DQ_EvalMethodDesc | Número total de ítems erróneos o faltantes dentro del conjunto de datos definidos por el ámbito de la calidad de los datos. |
| DQ_QualityResult | |
| DQ_ValueType | Entero |
| DQ_Value | 0 |
| DQ_ValueUnit | Numero de omisiones en vértices de primer orden a lo largo de 45 Km de trazado. |
| DQ_Date | 2015-07-31 |
| DQ_ConformanceLevel | 0 omisiones en el conjunto de datos. |
| Parámetros del conjunto de datos | Fueron identificados 30 vértices del polígono de primer orden dentro del ámbito de la calidad de datos |
| Interpretación del resultado de calidad | El conjunto de datos es conforme . El número total de elementos faltantes dentro del conjunto de datos es cero. |

Fuente: Modificado de ISO 19114, (2003).

Tabla 44. Evaluación de calidad referente a la Consistencia lógica.

| Medidas y Componentes de calidad de datos | |
|--|---|
| DQ_Scope | Todos los triángulos de la red de primer orden que no cumplen con un grado de precisión superior a 1:100.000, asociado con el error cierre lineal. |
| DQ_Element | Consistencia Lógica |
| DQ_Subelement | Consistencia Topológica |
| DQ_MeaSure | |
| DQ_MeaSureDesc | Conteo de error, número de elementos con inconsistencias topológicas. |
| DQ_MeaSureID | 3 |
| DQ_EvalMethod | |
| DQ_EvalMethodType | Interno |
| DQ_EvalMethodDesc | Para cada triángulo que forma la red de primer orden, se comprueba que el grado de precisión definido por la razón de su perímetro y el error de cierre lineal, sea superior a 1:100.000. Se contabiliza el número de triángulos que no cumple con esta razón de precisión. |
| DQ_QualityResult | |
| DQ_ValueType | Entero |
| DQ_Value | 0 |
| DQ_ValueUnit | Inconsistencias Topológicas |
| DQ_Date | 2015-08-18 |
| DQ_ConformanceLevel | 0 elementos pueden tener violaciones topológicas dentro de los 65 triángulos que integran la red topológicas. |
| Parámetros del conjunto de datos | 65 triángulos hacen parte del conjunto de datos; 64 de ellos están dentro del ámbito; 1 de ellos tiene inconsistencias topológicas, el cual corresponde al cierre 19 dentro de la red. |
| Interpretación del resultado de calidad | El conjunto de datos es no conforme . El número de inconsistencias topológicas excede el nivel de conformidad de la calidad de los datos |

Fuente: Modificado de ISO 19114, (2003).

Tabla 45. Error de Cierre ajuste entre vértices para triángulo SPG-08, SPG-07, SPG-06.

| Cierre 19 | | | | |
|---------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Desde | A | dX[m] | dY[m] | dZ[m] |
| SPG-08 | SPG-07 | -1.024.980 | -340.884 | -1.543.784 |
| SPG-07 | SPG-06 | - 16.438.339 | -3.625.115 | -5.434.134 |
| SPG-06 | SPG-08 | 17.463.613 | 3.965.507 | 6.978.089 |
| X: | 0.0294 m | Prueba W: | 1.93 | |
| S: | -0.0492 m | | -1.34 | |
| Z: | 0.0171 m | | 1.67 | |
| X local: | 0.0164 m | Prueba W: | 0.95 | |
| Y local: | 0.0113 m | | 1.04 | |
| Altura: | 0.0564 m | | 1.58 | |
| Error de cierre: | 0. 0599 m | (15.4 ppm) | Razón:(1:64812) | |
| Longitud: | 3879.255 m | | | |

Fuente: Construcción propia.

Tabla 46. Evaluación de calidad referente a la Consistencia Lógica.

| Medidas y Componentes de calidad de datos | |
|--|---|
| DQ_Scope | Todos los elementos clasificados como vértices de primer orden, reportados en el sistema de referencia espacial MAGNA SIRGAS, en coordenadas planas de Gauss Kruger, considerando el origen cartesiano gobernado por la latitud del punto. |
| DQ_Element | Consistencia Lógica |
| DQ_Subelement | Consistencia de dominio |
| DQ_MeaSure | |
| DQ_MeaSureDesc | Número de inconsistencias de dominio |
| DQ_MeaSureID | 4 |
| DQ_EvalMethod | |
| DQ_EvalMethodType | Interno |
| DQ_EvalMethodDesc | Se comparan las longitudes de cada vértice con el origen cartesiano de las coordenadas MAGNA SIRGAS reportadas, y se determina si alguna está fuera del dominio. |
| DQ_QualityResult | |
| DQ_ValueType | Entero |
| DQ_Value | 0 |
| DQ_ValueUnit | Infracciones en el origen cartesiano |
| DQ_Date | 2015-08-18 |
| DQ_ConformanceLevel | 0 elementos pueden tener violaciones en el origen cartesiano asociado. |
| Parámetros del conjunto de datos | 34 vértices del conjunto de datos fueron reportados en el origen cartesiano Oeste MAGNA, y están dentro del ámbito. Ninguno de ellos tiene inconsistencias que violen su dominio; la longitud de menor y mayor valor geográfico corresponden a 75°50'46.57991" y 75°37'59.05044" respectivamente. |
| Interpretación del resultado de calidad | El conjunto de datos es conforme , ya que el dominio definido para el sistema proyectado para Gauss-Kruger Oeste MAGNA, corresponde al intervalo de longitudes entre 75°34'39.0285" y 78°34'39.0285". |

Fuente: Modificado de ISO 19114, (2003).

Tabla 47. Evaluación de calidad referente a la Consistencia Lógica.

| Medidas y Componentes de calidad de datos | |
|--|---|
| DQ_Scope | Todos los elementos clasificados como vértices de primer orden, reportados en coordenadas geocéntricas, planas de Gauss-Kruger y elipsoidales, deberán ser expresados en metros, como unidad de medida lineal, y en grados minutos y segundos, como unidad de medida angular. |
| DQ_Element | Consistencia Lógica |
| DQ_Subelement | Consistencia de Formato |
| DQ_MeaSure | |
| DQ_MeaSureDesc | Número de inconsistencias en el formato |
| DQ_MeaSureID | 5 |
| DQ_EvalMethod | |
| DQ_EvalMethodType | Interno |
| DQ_EvalMethodDesc | Se compara la estructura de los registros de todos los elementos dentro del ámbito de aplicación, con las definiciones de los campos y estructura especificada y se contabilizan aquellas que son inconsistentes. |
| DQ_QualityResult | |
| DQ_ValueType | Entero |
| DQ_Value | 0 |
| DQ_ValueUnit | Violaciones del formato. |
| DQ_Date | 2015-08-18 |
| DQ_ConformanceLevel | 0 |
| Parámetros del conjunto de datos | 94 elementos están dentro del ámbito. Cero elementos violan el formato especificado. |
| Interpretación del resultado de calidad | Conjunto de datos conforme ; no se han encontrado violaciones del formato. |

Fuente: Modificado de ISO 19114, (2003).

Tabla 48. Evaluación de calidad referente a la Exactitud Posicional.

| Medidas y Componentes de calidad de datos | | | | | | |
|---|---|---|--|-------|-------------------------------|---|
| DQ_Scope | Todos los elementos clasificados como vértices de primer orden, reportados en coordenadas planas de Gauss-Kruger. | | | | | |
| DQ_Element | Exactitud Posicional | | | | | |
| DQ_Subelement | Exactitud absoluta o externa | | | | | |
| DQ_MeaSure | | | | | | |
| DQ_MeaSureDesc | <p>Los valores verdaderos de las coordenadas observadas son conocidos como X_t y Y_t. El estimador es:</p> $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=n}^n (X_{mi} - X_t)^2 + (Y_{mi} - Y_t)^2}$ <p>Da al error cuadrático medio de la raíz lineal RMSEP.</p> | | | | | |
| DQ_MeaSureID | 7 | | | | | |
| DQ_EvalMethod | | | | | | |
| DQ_EvalMethodType | Externo | | | | | |
| DQ_EvalMethodDesc | Se realiza una selección de vértices dentro del universo del discurso y se obtiene una nueva medida, vinculando el resultado a la red geodésica del país, en fundamento de las especificaciones definidas para el proyecto. Y se calcula el RMSEP, a partir del error cuadrático medio de la raíz lineal. | | | | | |
| DQ_QualityResult | | | | | | |
| DQ_ValueType | Número | | | | | |
| DQ_Value | 0,017 m | | | | | |
| DQ_ValueUnit | Metro | | | | | |
| DQ_Date | 2015-08-18 | | | | | |
| DQ_ConformanceLevel | <p>Acorde con los estándares de precisión horizontal, alturas elipsoidales, niveladas y normales, definidos en la norma NTC5204 Precisión de las Redes Geodésicas:</p> <table><tr><td>Orden</td><td>Clasificación de la precisión</td><td>95 por ciento de confianza menor o igual que:</td></tr></table> | | | Orden | Clasificación de la precisión | 95 por ciento de confianza menor o igual que: |
| Orden | Clasificación de la precisión | 95 por ciento de confianza menor o igual que: | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---------|------|---------|---|------|---------|---|------|---------|---|------|---------|---|------|---------|---|------|---------|
| | <table><tr><td>1</td><td>1 mm</td><td>0,001 m</td></tr><tr><td>2</td><td>2 mm</td><td>0,002 m</td></tr><tr><td>3</td><td>5 mm</td><td>0,005 m</td></tr><tr><td>4</td><td>1 cm</td><td>0,010 m</td></tr><tr><td>5</td><td>2 cm</td><td>0,020 m</td></tr><tr><td>6</td><td>5 cm</td><td>0,050 m</td></tr></table> | 1 | 1 mm | 0,001 m | 2 | 2 mm | 0,002 m | 3 | 5 mm | 0,005 m | 4 | 1 cm | 0,010 m | 5 | 2 cm | 0,020 m | 6 | 5 cm | 0,050 m |
| 1 | 1 mm | 0,001 m | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 2 mm | 0,002 m | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 5 mm | 0,005 m | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 1 cm | 0,010 m | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 2 cm | 0,020 m | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 5 cm | 0,050 m | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Parámetros del conjunto de datos | Omitido | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Interpretación del resultado de calidad | RMSEP de los nodos es 0.017 m, ya que el nivel de calidad de conformidad no está especificado; se realiza una clasificación acorde con la norma NTC5204 Precisión de las Redes Geodésicas, en la cual se identifica que la red geodésica del proyecto es de 5 Orden. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Modificado de ISO 19114.

Tabla 49. Error cuadrático medio de la raíz lineal RMSEP

| Ym | Xt | Yt | (Xm-Xt)2 | (Ym-Yt)2 | Sumatoria |
|-------------|-------------|-------------|----------|-----------|-----------|
| 1152154,461 | 1157532,157 | 1152154,476 | 4,9E-05 | 0,000225 | 0,000274 |
| 1136335,171 | 1150856,274 | 1136335,183 | 3,6E-05 | 0,000144 | 0,00018 |
| 1144502,177 | 1155709,37 | 1144502,192 | 0,000121 | 0,000225 | 0,000346 |
| 1156492,795 | 1160429,486 | 1156492,79 | 0,0004 | 2,5E-05 | 0,000425 |
| 1147873,725 | 1157674,111 | 1147873,727 | 0,000144 | 4E-06 | 0,000148 |
| | | | | Sumatoria | 0,001373 |
| | | | | Promedio | 0,0002746 |
| | | | | σ | 0,017 |

Fuente: Construcción propia.

Tabla 50. Evaluación de calidad referente a la Exactitud Temporal

| Medidas y Componentes de calidad de datos | |
|--|---|
| DQ_Scope | Todos los elementos clasificados como vértices de primer orden, reportados en coordenadas geocéntricas o planas de Gauss-Kruger. |
| DQ_Element | Exactitud Temporal |
| DQ_Subelement | Validez Temporal |
| DQ_MeaSure | |
| DQ_MeaSureDesc | Indicador de corrección |
| DQ_MeaSureID | 7 |
| DQ_EvalMethod | |
| DQ_EvalMethodType | Interno |
| DQ_EvalMethodDesc | Para cada punto, se evalúa que la época de cálculo para los vértices de la red reportados, sean concordantes con la época de la captura de datos. |
| DQ_QualityResult | |
| DQ_ValueType | Entero |
| DQ_Value | 0 |
| DQ_ValueUnit | Invalidez Temporal |
| DQ_Date | 2015-08-18 |
| DQ_ConformanceLevel | Cero elementos pueden tener invalidez temporal |
| Parámetros del conjunto de datos | Omitido |
| Interpretación del resultado de calidad | Conjunto de datos, conforme . Ningún elemento en el conjunto de datos tienen invalidez temporal. |

Fuente: Modificado de ISO 19114.

Para la evaluación de calidad se obtienen los siguientes resultados, mostrados en la Tabla 51:

Tabla 51. Resumen de la evaluación de calidad.

| Elementos de calidad de los datos | Sub elemento de calidad de los datos | ID | Tipo/Método de evaluación | Resultado de la evaluación |
|-----------------------------------|--------------------------------------|----|---|----------------------------|
| Compleitud | Comisión | 1 | Interno/ Número de comisiones | Conforme |
| Compleitud | Omisión | 2 | Interno/ Número de Omisiones | Conforme |
| Consistencia Lógica | Consistencia Topológica | 3 | Interno/ Conteo de error | No Conforme |
| Consistencia Lógica | Consistencia de Dominio | 4 | Interno/ Numero de inconsistencias de dominio | Conforme |
| Consistencia Lógica | Consistencia de Formato | 5 | Interno/ Numero de inconsistencias en el formato. | Conforme |
| Exactitud Posicional | Exactitud absoluta o externa | 6 | Externo/ Calculo del RMSEP | Conforme |
| Exactitud Temporal | Validez Temporal | 7 | Interno/ Indicador de Corrección | Conforme |

Tras la evaluación de calidad realizada, se obtienen resultados de conformidad para todos elementos identificados en el conjunto de datos; sin embargo, para el sub elemento consistencia topológica, en el cual se define una relación entre el perímetro y el error de cierre lineal, se identifica que uno de los elementos no cumple con los parámetros de conformidad definidos para la evaluación de calidad. No obstante, la evaluación de calidad realizada permite establecer la conformidad de los datos de la red para el resto de los elementos y sub elementos de calidad, lo cual indica que en términos generales, la información puede ser considerada como confiable para los propósitos definidos por la entidad contratante Pacífico-1.

8. Conclusiones

- Existen dos sistemas de referencia para Colombia, el antiguo sistema Datum Bogotá, el cual es bidimensional (con el sistema de alturas remitidas al nivel medio del mar), que gobierna gran parte de la información cartográfica Colombiana, y el Sistema de Referencia MAGNA, el cual es tridimensional (con el sistema de alturas remitidas al elipsoide), y es el sistema de referencia oficial para la cartografía y la Geodesia del país.
- El desconocimiento generalizado por parte de los productores y consumidores de la información georreferenciada, referente al buen uso de los sistemas de referencia (Bogotá y MAGNA), así como del correcto manejo de los diferentes tipos de coordenadas utilizadas en Colombia, es una constante, lo cual representa una barrera importante para la calidad de los diferentes productos derivados de la toma y captura de datos georreferenciados.
- Aunque en los últimos años, el uso de metodologías aplicadas a tecnologías satelitales, representado en los receptores GPS/GNSS para la captura de datos ha ido en aumento, la mayoría de los datos levantados en campo en el país obedecen a metodologías convencionales o tradicionales, donde el uso de las estaciones totales en lo que respecta al registro de datos de precisión, es una constante para la mayoría de los proyectos. Lo que se describe como un levantamiento Planimétrico y plani-altimétrico cuando se incorpora en el estudio el registro de las cotas o alturas, es el método de captura y control más utilizado por productores de datos en el país.
- En Colombia existe un desconocimiento generalizado por parte de los diferentes profesionales, usuarios y organizaciones que participan en la adquisición y comercialización de datos geográficos, en lo que respecta a los parámetros mínimos de calidad, que conduzcan a identificar la conformidad o no, de los productos resultantes de un conjunto de datos levantados en campo.

- Las medidas de calidad aplicadas a los levantamientos topográficos en Colombia son fundamentales para la determinación del nivel de conformidad de un conjunto de datos. De esta manera, gran parte de los malos resultados o reprocesos presentes en la mayoría de los proyectos relacionados con la aplicación y uso de datos geográficos, podrían ser evitados, controlados o mitigados, realizando una evaluación de calidad pertinente al conjunto de datos.
- En la evaluación de calidad del conjunto de datos geográficos, es necesaria la aplicación de métodos de evaluación internos, pertenecientes al propio universo de discurso, y externos, para lo cual se hace necesario el registro topográfico de una muestra representativa dentro del universo del discurso, levantada considerando las especificaciones técnicas del estudio contratado por la firma Pacífico_1.
- La evaluación de calidad realizada al conjunto de datos es no conforme, referente al elemento de calidad relacionado con la consistencia lógica, la cual indica el grado de cumplimiento de la estructura de datos, en este caso de tipo conceptual, en la que para cada triángulo que forma la red de primer orden, se define como nivel de conformidad una precisión dada por la razón de su perímetro y el error de cierre lineal, superior a 1:100.000. En cuanto a que el sub elemento evaluado, consistencia topológica, se encuentra que no todos los triángulos de la red de primer orden cumplen con un grado de precisión superior a 1:100.000, asociado con el error cierre lineal.

9. Recomendaciones

- Acorde con el ente rector de la cartografía en Colombia IGAC, el sistema de referencia a utilizar para cualquier proyecto o estudio topográfico que involucre la representación espacial del mismo, deberá realizarse en el sistema MAGNA, el cual es el sistema de referencia oficial para Colombia en la actualidad. Sin embargo, se debe conocer por parte de los profesionales productores de información las características y relaciones más importantes con el antiguo sistema de referencia Datum Bogotá, debido a que hoy en día, la información de muchas zonas del país se encuentran remitida a dicho sistema.
- Es importante que los diferentes profesionales involucrados con la producción de información georreferenciada, derivada de los levantamientos topográficos en Colombia, tengan el conocimiento y manejo de los tipos de coordenadas utilizados, sus características y propiedades, ya que es un factor que afecta de manera directa la calidad de los levantamientos topográficos.
- Es necesario conocer las características asociadas con los principales tipos de levantamientos topográficos o GNSS, equipos e instrumentación asociada, así como los requisitos a cumplir por parte de los profesionales encargados de adelantar estos estudios. Lo anterior constituye un aporte significativo en la toma correcta de decisiones encaminada al desarrollo de cualquier proyecto, donde el levantamiento de datos en campo resulta determinante para el éxito del mismo.
- La información asociada con un levantamiento o estudio topográfico deberá ser suficientemente amplia, de manera que permita establecer las medidas de conformidad básicas preliminares del producto que representa, la información asociada con el método utilizado, instrumentos, cantidad de datos registrados, entre otros, contribuyen en la definición de los elementos y sub elementos de calidad necesarios

para describir el grado de adecuación de los datos, acorde con los criterios definidos para el estudio topográfico.

- Se recomienda considerar la propuesta de evaluación de calidad aplicada a los levantamientos topográficos, como medida de la aceptación o rechazo del producto obtenido, puesto que integra los elementos necesarios para documentar, describir, y evaluar el nivel en el cual un conjunto de datos geográficos realmente cumple con las especificaciones de calidad de un producto previamente definido.

10. Referencias.

- Alcaldía de Medellín, (2013): *Instructivo de Migración de Datum Bogotá a Datum MAGNA con software ArcGIS 10. MIGRACION DE DATUM BOGOTÁ A DATUM MAGNA*, 9. Recuperado de https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Planeaci%C3%B3n%20Municipal/Secciones/Servicios/Documentos/SITE/Estandares/12032013_InstructivoMigracionMAGNAMEDellinLocal%20ArcGIS10_v1.pdf
- ANI, (2014). *Apendice Técnico 3-Especificaciones Generales*. Recuperado de <http://www.ani.gov.co/sites/default/files/hiring/2681/2577//apendice-tecnico-3-especificaciones-generales-pacifico-2.pdf>
- Arias Patiño, M. F., (2014). *Desarrollo de un algoritmo de aprendizaje de máquina para gravimetría, nivelación geométrica y alturas elipsoidales*. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/46817/>
- AxisIMA, (2004). *Nivelación*. Recuperado de <http://axisima.com/en-que-consiste-la-nivelacion-topografica/>
- Bravo, M.J., Rodriguez, C., Domenech, E., (2009), *Análisis de la norma ISO 19115-2 y su aplicación en proyectos de información ráster españoles y europeos*. Recuperado de http://idee.es/resources/presentaciones/JIDEE08/ARTICULOS_JIDEE2008/articulo38.pdf
- Brinker, Wolf, (2006): *Topografía*. México: Alfaomega.
- Caldera, Fernando Javier, (2014). *Operaciones Topográficas. Nivelación*. Recuperado de http://www.academia.edu/7389709/Unidad_06_Nivelacion

- Caturla, J.L. (1988): *Sistema de Posicionamiento Global (GPS)*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, I.G.N. Madrid, España.
- Comité Técnico de Normalización de Información Geográfica - CTN 028
- Cueva del Ingeniero Civil, (2013). *Uso del GeoCalc y Transformación de Coordenadas*. Recuperado de <http://www.cuevadelcivil.com/2010/12/uso-del-geocalc-y-transformacion-de.html>
- Domínguez García, F. (1998). *TOPOGRAFIA GENERAL Y APLICADA*. Madrid: S.A. Mundi-Prensa Libros.
- Galeón, (2004). *Topografía Alanzada*. Recuperado de <http://jhontopo85.galeon.com/cartografia.htm>
- Hofmann-Wellenhof, B.; Liuchtenegger, H.; Collins, J. (1994). *GPS Theory and Practice*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/245232783_GPS-Theory_and_Practice_B_Hofmann-Wellenhof_H_Lichtenegger_and_J_Collins_165_24_cm_Springer-Verlag_Vienna_326_pp_DM_79
- ICONTEC, (2003). *NTC 5204-PRECISIÓN DE LAS REDES GEODESICAS*. Bogotá, D.C: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC, (2003). *NTC 5205 - PRECISIÓN DE DATOS ESPACIALES*. Bogotá, D.C: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC, (2010). *NTC 5662 - Información Geográfica. Especificaciones técnicas de productos geográficos*. Bogotá, D.C: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- INEGI, (2004). *Geoide Gravimétrico Mexicano*. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/que_es_geoide.aspx

- Instituto Colombiano de Desarrollo Rural, (2008): *Resolución 1207 de 2008*. Recuperado de http://www.incoder.gov.co/documentos/Convocatorias/2010/Resolucion_2008_1207_Planos.pdf
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (1997). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA OBTENCIÓN DE ALTURAS SOBRE EL NIVEL MEDIO DEL MAR UTILIZANDO EL SISTEMA GPS*. Bogotá, D.C: IGAC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (2004). *TIPOS DE COORDENADAS MANEJADAS EN COLOMBIA*. Bogotá, D.C: IGAC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (2005). *Aspectos prácticos de la adopción del marco geocéntrico nacional de referencia MAGANA-SIRGAS como Datum oficial de Colombia*. Bogotá, D.C: IGAC.
- Instituto Geográfico Nacional-IGN, (2009). *ISO 19113, PRINCIPIOS DE CALIDAD*. Catamarca ARGENTINA: Universidad Nacional de Catamarca.
- Instituto Geográfico Nacional-IGN, (2009). *ISO 19114, PROCEDIMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE CALIDAD*. Catamarca ARGENTINA: Universidad Nacional de Catamarca.
- Instituto Geográfico Nacional-IGN, (2009). *ISO 19138, MEDIDAS DE CALIDAD DE LOS DATOS*. Catamarca ARGENTINA: Universidad Nacional de Catamarca.
- ISO, (2003). *ISO 19113:2002 Geographic information -- Quality principles*. International Organization for Standardization.
- ISO, (2003). *ISO 19114:2003 Geographic information -- Quality evaluation procedures*. International Organization for Standardization.
- Jiménez, Gonzalo, (2007): *Topografía para ingenieros civiles*. Armenia: Universidad del Quindío.

- Martín Furones, A., (2010): *Sistema y marco de referencia terrestre. Sistemas de coordenadas*. Recuperado de <http://www.upv.es/unigeo/index/docencia/etsigct/astronomia/teoria/astronomia210.pdf>
- Sánchez Rodríguez, L. (2003). *Determinación de la superficie vertical de referencia para Colombia*. Recuperado de <http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/d24c2900469f78a2b006b8923ecd f8fe/modelo+geoidal+GEOCOL+2004.pdf?MOD=AJPERES>
- Sánchez Sobrino, J., (2010). *Observables GPS*. Recuperado de <file:///C:/Users/pc/Downloads/Observables%20GPS.pdf>
- SIRGAS, (2005). *Coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS-CON*. Recuperado de http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/SIRGAS_CRD/sir16P1881.crd
- Torres Nieto, Álvaro, (2001). *Topografía*. Colombia: Alfaguara.
- Turiño, Carlos. (2006). *Integración de los Sistemas de Información Geográfica y del Sistema de Posicionamiento Global*. La proyección UTM, 49. Recuperado de http://www.ugr.es/~ctig/documentos/Integracion_SIG_GPS.pdf
- Universidad Politécnica de Valencia, (2005). *EL SISTEMA DE COORDENADAS UTM*. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10772/Coordenadas%20UTM.pdf>